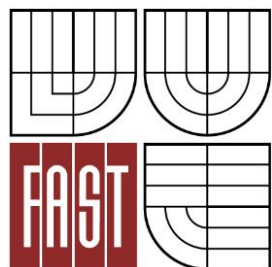




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STANOVENÍ KAPACITNÍ CHARAKTERISTIKY DVOUÚROVNĚOVÉHO PEVNÉHO PŘELIVU

DETERMINATION OF CAPACITY CHARACTERISTICS OF TWO-LEVEL FIXED SPILLWAY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR CHVÁTAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JAN ŠULC, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Petr Chvátal
Název	Stanovení kapacitní charakteristiky dvouúrovňového pevného přelivu
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Čábelka, J.; Gabriel, P.: Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice - výzkum na hydraulických modelech a ve skutečnosti. Academia Praha, 1987

Kolář, V.; Patočka, C.; Bém, J.: Hydraulika. SNTL Praha, 1983

Mäsiar, E.; Kamenský, J.: Hydraulika pre stavebných inžinierov (I). ALFA Bratislava, 1985

Boor, B.; Kunštátský, J.; Patočka, C.: Hydraulika pro vodohospodářské stavby. SNTL Praha, 1968

Šulc, J.; Žoužela, M.: Modelový výzkum nového objektu pro převádění extrémních povodní VD Šance (bezpečnostní přeliv, skluz, vývar). Výzkumná zpráva, LVV-FAST-VUT v Brně, 2007

ČSN ISO 1438-1 25 9331 Měření průtoku vody v otevřených korytech pomocí přelivů a Venturiho žlabů. Část 1: Tenkostěnné přelivy

Zásady pro vypracování

Při zkapačňování bezpečnostních objektů vodních děl se často používají dvou či více etážové pevné přelivy, umožňující příznivější řízení odtoku v závislosti na úrovni hladiny v prostoru zátopy. Prostor navázání dvou sousedních odlišných úrovní přelivných hran či korun je z kapacitního hlediska nedostatečně prozkoumán. Posluchač provede rešeršní analýzu dosavadních poznatků, navrhne jednoduché ostrohranné přelivy umístitelné do hydraulického zkušebního žlabu šířky 410 mm. Pro zvolené geometrie dvouetážových přelivů změří při definovaných průtocích odpovídající úrovně vzduté vody, vyhodnotí kapacitní charakteristiky jednotlivých variant. Výsledky budou zpracovány ve formě aplikovatelných závěrů pro projekční a výzkumné účely včetně využitelnosti při numerickém modelování přepadového jevu.

Struktura bakalářské práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce je koncipována jako souhrn dosavadních informací o dvou a více etážových bezpečnostních objektech vodních děl a vyhodnocuje kapacitní charakteristiky jednotlivých variant. Za cíl si klade především vytvoření a zpracování těchto charakteristik ve formě aplikovatelných výsledků nejen pro projekční a výzkumné účely, ale i pro numerické modelování.

Klíčová slova

Přeliv, kapacitní charakteristiky, dvouúrovňový, modelový výzkum, součinitel přepadu

Abstract

The Bachelor's thesis is conceived as a summary of existing information about two or more level fixed spillways of hydraulic structures and evaluates the capacity characteristics of individual variants. Its aim is primarily the formation and processing of these characteristics in the form of usable results, not only for design and research purposes, but also for numerical modelling.

Keywords

Spillway, capacity characteristics, two-level, model research, discharge coefficient

Bibliografická citace VŠKP

CHVÁTAL, Petr. *Stanovení kapacitní charakteristiky dvouúrovňového pevného přelivu*. Brno, 2016. 73 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora
Petr Chvátal

Poděkování:

Děkuji panu prof. Ing. Janu Šulcovi, CSc. za ochotu, trpělivost a připomínky, které mi pomohly při měření a psaní bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat všem zaměstnancům Laboratoře vodohospodářského výzkumu, kteří mi umožnili modelový výzkum provést. Děkuji také rodičům a všem, kteří mi byli po dobu studia oporou a pomocí. Tato bakalářská práce byla zpracována za podpory úkolu specifického výzkumu „Přelivy za specifických hydraulických podmínek“ FAST-S-15-2841.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	PROUDĚNÍ NA PŘELIVECH – SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ.....	4
2.1	Základní pojmy, rozdělení přelivů.....	4
2.1.1	Základní typy přelivů	5
2.1.1	Přelivy dle půdorysného uspořádání	6
2.2	Hydraulická problematika dvouúrovňových přelivů.....	8
2.2.1	Stávající způsob výpočtu dvouúrovňových přelivů	9
2.2.2	Dlouhé dvouúrovňové přelivy při dokonalém přepadu	9
2.2.3	Dlouhé dvouúrovňové přelivy při nedokonalém přepadu	10
2.2.4	Krátké dvouúrovňové přelivy.....	11
2.3	Dvouúrovňové přelivy na vodních dílech	11
2.4	Účel provedení hydraulického výzkumu	12
3	MODELOVÁ PODOBNOST	13
3.1	Geometrická podobnost	13
3.2	Kinematická podobnost	14
3.3	Dynamická podobnost.....	14
3.4	Meze mechanické podobnosti pro ostrohranný přeliv	17
4	POPIS MODELU, MĚRNÉ TRATĚ A MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ.....	18
4.1	Model – tvary přelivů.....	18
4.1	Popis měrné tratě a měřicího vybavení	20
5	MĚŘENÍ NA TRATI	25
5.1	Účel zkoušek.....	25
5.2	Postup prací	25
5.3	Postup měření – fotografie.....	26
6	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	37
6.1	Dokonalý přepad	37
6.1.1	Stanovení kapacitní závislosti	37
6.1.2	Vyjádření opravného součinitele K a K'	48

6.1.3	Vliv deformace proudu v prostoru navázání různých úrovní přelivů na jeho kapacitu	52
6.2	Nedokonalý přepad	53
6.3	Shrnutí výsledků.....	59
7	ZÁVĚR	61
8	POUŽITÁ LITERATURA	62
9	SEZNAM TABULEK	63
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
11	SEZNAM GRAFŮ	68
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	69
13	SUMMARY	73

1 ÚVOD

Víceetážové přelivy se používají při zkapacitňování přelivů vodních děl. Umožňují lépe řídit požadovaný odtok v závislosti na úrovni hladiny v nádrži. Nutnost modelového výzkumu je dána zejména nedostatečným prozkoumáním proudění v prostoru navázání dvou sousedních úrovní přelivných hran (korun). Bakalářská práce je koncipována jako souhrn dosavadních informací o dvou, případně více etážových přelivech bezpečnostních objektů vodních děl a vyhodnocuje kapacitní charakteristiky jednotlivých variant. Za cíl si klade především zpracování experimentálních dat ve formě aplikovatelných výsledků nejen pro projekční a výzkumné účely, ale i pro numerické modelování.

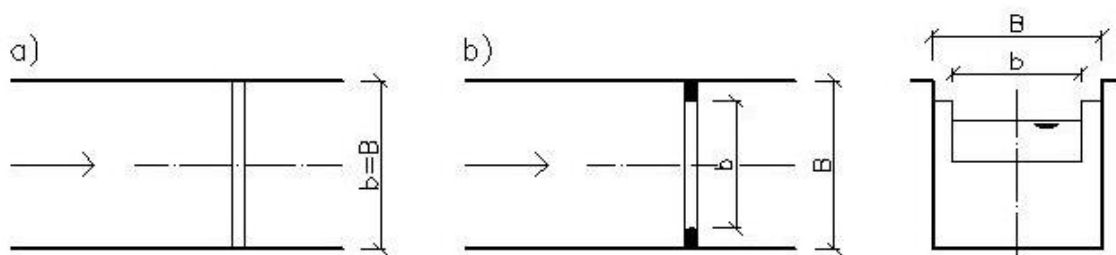
Práce je rozdělena do sedmi kapitol. Po úvodní části následuje kapitola rozboru současného stavu poznání v oblasti proudění na přelivech. Jsou zde vysvětleny základní pojmy a rozdělení přelivů – typy a členění dle půdorysného uspořádání. Obsahem této kapitoly je rovněž rozbor hydraulické problematiky dvouúrovňových přelivů, popis využití konstrukcí tohoto typu na vodních dílech a objasnění účelu hydraulického výzkumu. Třetí část práce je věnována modelové podobnosti – geometrické, kinematické a dynamické a mezím mechanické podobnosti. Čtvrtá kapitola obsahuje popis modelu, měrné tratě a měřicího vybavení. Vlastní měření na trati a výsledky jsou v páté kapitole, a to včetně fotografií z průběhu měření. Dále jsou pak naměřené hodnoty v šesté části zpracovány pro dokonalý i nedokonalý přepad.

2 PROUDĚNÍ NA PŘELIVECH – SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

2.1 ZÁKLADNÍ POJMY, ROZDĚLENÍ PŘELIVŮ

Termín přeliv označuje konstrukci, jejímž umístěním do koryta řeky či do umělého kanálu dojde ke vzduť vody a přes kterou voda přepadá. Z hlediska konstrukce hovoříme o přelivech pevných a přelivech pohyblivých. Pohyblivé přelivy umožňují manipulaci a zajišťují lepší využití zadržené vody. Toho dosáhneme změnou úrovně přelivné hrany. Setkáme se s nimi např. u jezů klapkových, segmentových, válcových či vakových. U vakových jezů dosahujeme změny úrovně tlakovým napouštěním či vypouštěním vaku – změnou jeho tvaru.

S přelivy úzce souvisí také termín přepad. Takto nazýváme hydraulický jev vznikající při přetékání kapaliny přes přeliv. Tento dále dělíme na přepad dokonalý a přepad nedokonalý – zatopený. Při dokonalém přepadu nedochází k ovlivnění přepadového paprsku dolní vodou reprezentovanou hloubkou h_d . Zatopením přelivu dojde ke snížení jeho kapacity, což je vyjádřeno součinitelem zatopení σ_z , jež nabývá hodnot <1 . Rozhraní mezi dokonalým a nedokonalým přepadem je pro každý přeliv specifické. Zatopení vzniká při vodním skoku vzduťm či vlnovitém. Pokud úroveň dolní vody přesahuje úroveň přelivné hrany, je třeba vyšetřit, zda nedochází ke snížení přepadového množství. Dalším faktorem ovlivňujícím přepad je boční zúžení. Z tohoto pohledu rozdělujeme přelivy na dvě skupiny. První – bez bočního zúžení – nastává tehdy, kdy je šířka žlabu B rovna šířce přepadového paprsku b . Do druhé skupiny řadíme přelivy, u kterých nastane situace, kdy je šířka žlabu B větší než šířka přepadového paprsku b .

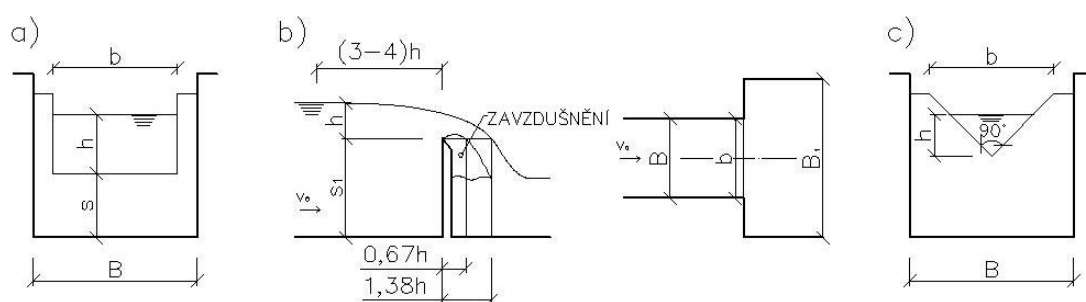


Obr. 2.1 Typy přelivů: a) přeliv bez bočního zúžení; b) přeliv s bočním zúžením

2.1.1 Základní typy přelivů

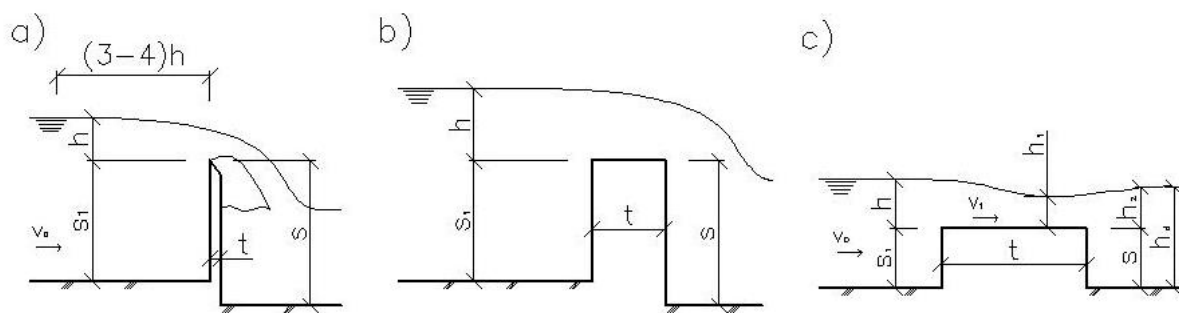
Z hlediska tvaru a tloušťky přelivné konstrukce, který ovlivňuje proudění kapaliny, rozlišujeme tyto čtyři základní typy přelivů:

- a) **přelivy ostrohranné**, u kterých platí podmínka $t < 0,67 h$, kde t je tloušťka přelivné konstrukce a h je výška přepadového paprsku. Ostrohranné přelivy se využívají především při měření průtoků, a to především díky jejich jednoznačnému určení v rozmezí platnosti daných rovnic. Jako příklad uveďme Ponceletův, Bazinův či Thomsonův přeliv.



Obr. 2.2 Příklady ostrohranných přelivů: a) Ponceletův přeliv; b) Bazinův přeliv; c) Thomsonův přeliv

- b) **přelivy jezové (přehradní)** – jedná se o přelivy splňující požadavek $t \in (0,67h; (2 \div 3)h)$. Jde o konstrukce různých tvarů (obdélníkový, lichoběžníkový tvar či proudnicová přelivná plocha, např. dle Scimemiho – beztlaková přelivná plocha, dle Smetany – tlaková přelivná plocha atd.) používané na hrázích vodních nádrží či jako jez sloužící ke vzduť vody v korytě vodního toku. Jezy se navrhují pevné či pohyblivé.
- c) **přelivy se širokou korunou** – tloušťka $t > (2 \div 3)h$, lze je označit za obdélníkový práh uložený na dně koryta, přes který se voda přelévá.
- d) **zvláštní přelivy** – patří sem například přeliv kruhového půdorysu – přeliv šachtový, přeliv typu kachní zobák či přeliv boční.

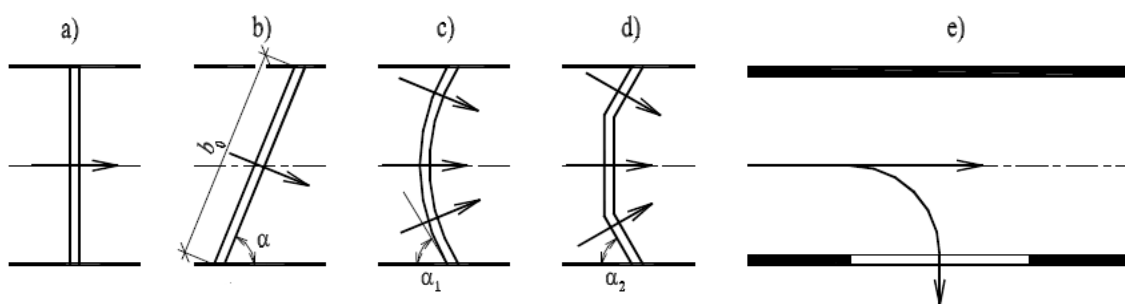


Obr. 2.3 Základní typy přelivů: a) přeliv ostrohranný při dokonalém přepadu; b) přeliv jezový obdélníkový; c) přeliv se širokou korunou

2.1.1 Přelivy dle půdorysného uspořádání

V našem případě řešíme především přelivy čelní, avšak dle půdorysného uspořádání přelivné hrany vzhledem ke směru proudu rozeznáváme přelivy:

- a) **čelní** – směr proudu je kolmý na přelivnou hranu
- b) **šikmý** – proud nabíhá ve směru šikmém na přelivnou hranu
- c) **obloukové** – přelivná hrana má tvar oblouku
- d) **lomené** – se zalomenou přelivnou hranou
- e) **boční (postranní) přelivy** – proud je rovnoběžný s přelivnou hranou nebo je přelivná hrana odkloněná, avšak nepřehrazuje tok



Obr. 2.4 Přelivy dle půdorysného uspořádání: a) přeliv čelní; b) přeliv šikmý; c) přeliv obloukový; d) přeliv lomený; e) přeliv boční [1]

Význam těchto různě půdorysně orientovaných přelivů spočívá především v rozšíření přelivné hrany (koruny) L , čímž dochází i ke zvýšení kapacity přelivu Q . Při větší šířce přelivu dochází taktéž k menším výkyvům přepadových výšek h při změnách průtoku. To vyplývá z rovnice (2.1).

$$Q = m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{3}{2}}, \quad (2.1)$$

kde Q ... kapacita přelivu,

m ... součinitel přepadu,

L ... délka přelivné hrany,

g ... tíhové zrychlení,

h ... přepadová výška.



Obr. 2.5 VD Karolinka, odběrná věž kruhového půdorysu a šachtový přeliv [9]



Obr. 2.6 VD Olešná, přeliv typu kachní zobák [10]

Informace byly převzaty z publikací [2], [3], [4] a [5].

2.2 HYDRAULICKÁ PROBLEMATIKA DVOUÚROVNĚVÝCH PŘELIVŮ

Při zvyšování kapacity stávajících bezpečnostních objektů vodních děl se často využívá dvou či více etážových pevných přelivů, které dovolují přesnější řízení odtoku z prostoru zátopy ve vztahu k úrovni hladiny v nádrži. Délky přelivných hran vyšší a nižší úrovně se navrhuje tak, aby byl tvar měrné křivky průtoku co možná nejvhodnější pro provoz vodního díla i pod ním se nacházejícího vodního toku.

2.2.1 Stávající způsob výpočtu dvouúrovňových přelivů

V současné době není proudění v prostoru navázání sousedních přelivů o různých úrovních dostatečně prozkoumáno. Výpočet je založen na sčítání průtoků přes jednotlivé dílčí přelivy. Problematika se liší dle konstrukce přelivu a dalších okrajových podmínek, např. vlivu zatopení. Proto přelivy dále rozdělujeme.

2.2.2 Dlouhé dvouúrovňové přelivy při dokonalém přepadu

Dlouhé (široké – vysoká hodnota šířky b) přelivy při dokonalém přepadu můžeme rozdělit na části dle úrovní hrany (koruny) – počítat dílčí průtoky v každé části zvlášť a poté je sečíst. Na celkovém průtoku stanoveném součtem průtoků dílčích je zde malá chyba (do $(1,5 \div 5,0)\%$) a závisí na úrovni hladiny vzduté vody. Průtok počítáme dle rovnice (2.2), jednotlivé dílčí průtoky pak dle rovnice (2.3). Jedná se o jistý superpoziční princip, kdy nebereme v úvahu vzájemné ovlivňování proudění v prostoru navázání sousedních dílčích přelivů.

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (2.2)$$

$$Q_i = m_i \cdot b_i \cdot \sqrt{2g} \cdot h_0^{\frac{3}{2}}, \quad (2.3)$$

kde Q_i ... průtok přes jednotlivé dílčí úrovně hran (korun),

m_i ... součinitel přepadu pro jednotlivé dílčí úrovně hran (korun),

b_i ... šířka jednotlivých dílčích úrovní,

g ... tíhové zrychlení,

h_0 ... energetická přepadová výška získaná dle rovnice (2.4).

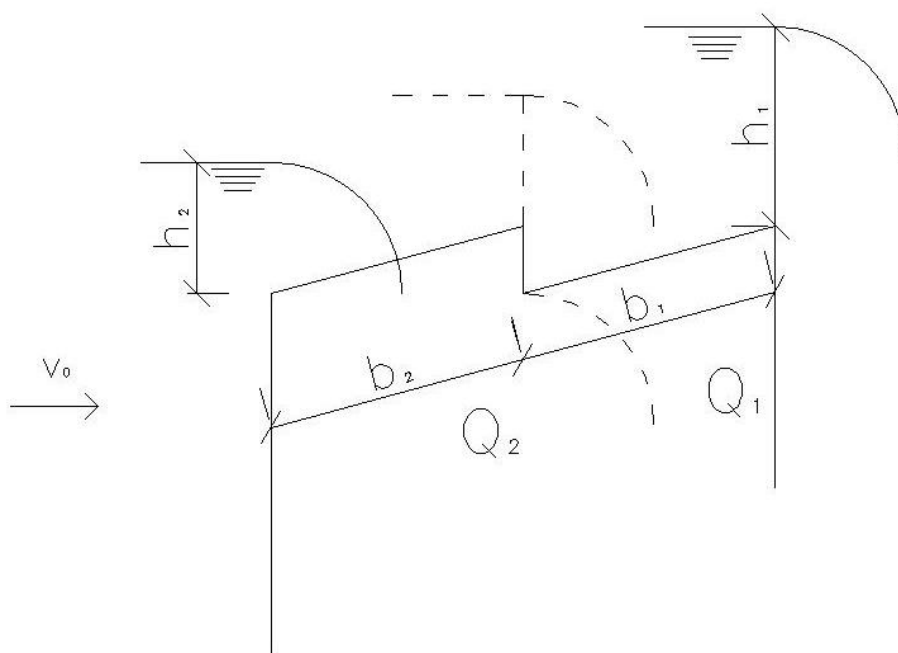
$$h_0 = h + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g}, \quad (2.4)$$

kde h ... přepadová výška,

α ... Coriolisovo kritérium vyjadřující vliv rozložení rychlosti proudu v profilu, při výpočtech použita hodnota $\alpha = 1$,

v_0 ... přítoková rychlost,

g ... tíhové zrychlení.



Obr. 2.7 Schéma rozdělení průtoku na dvouúrovňovém přelivu

2.2.3 Dlouhé dvouúrovňové přelivy při nedokonalém přepadu

Pokud jsou jeden či oba dílčí přelivy zatopené – nastává nedokonalý přepad. Dále počítáme průtoky přes jednotlivé úrovně přelivů zvlášť, ale dopouštíme se větší chyby (cca (5÷10)%). Ta také odpovídá chybě při stanovení přepadu zatopeného. Průtok je závislý na výšce přepadového paprsku h a úrovni dolní vody h_d , zde opět použijeme rovnici (2.2). Ovlivnění dolní vodou se projeví v rovnici (2.3) součinitelem zatopení σ_z viz rovnice (2.5).

$$Q_i = \sigma_z \cdot m_i \cdot b_i \cdot \sqrt{2g} \cdot h_0^{\frac{3}{2}} \quad (2.5)$$

kde Q_i ... průtok přes jednotlivé dílčí úrovně hran (korun),

σ_z ... součinitel zatopení,

m_i ... součinitel přepadu pro jednotlivé dílčí úrovně hran (korun),

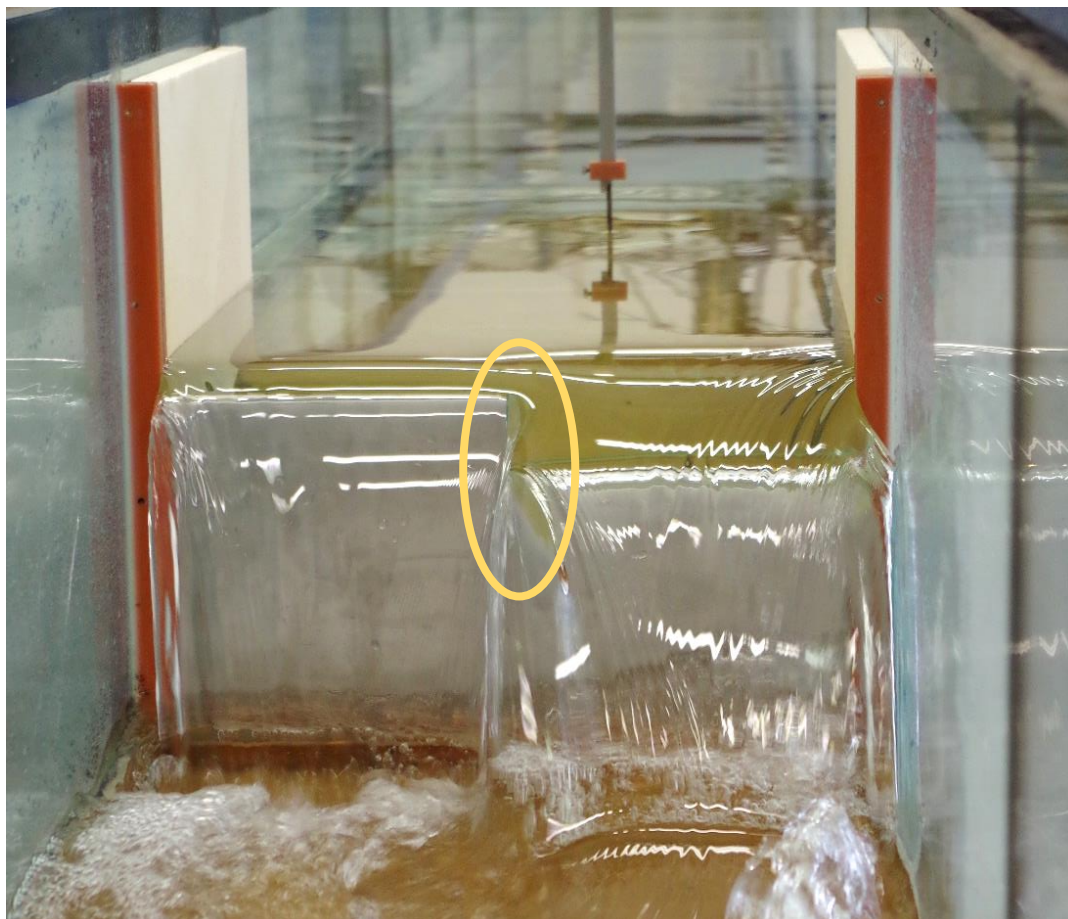
b_i ... šířka jednotlivých dílčích úrovní,

g ... tíhové zrychlení,

h_0 ... energetická přepadová výška.

2.2.4 Krátké dvouúrovňové přelivy

U krátkých přelivů je chyba při sčítání průtoků větší – vliv kontrakce se silněji projevuje u kratších přelivů. Dochází k výraznému prostorovému proudění, jenž zatím nelze spolehlivě výpočetně popsat. Se zkracováním délky přelivu se více projevuje vliv neznámého.



Obr. 2.8 Rozhraní úrovní přelivu, kde dochází ke kontrakci projevující se zejména u krátkých přelivů

2.3 DVOUÚROVŇOVÉ PŘELIVY NA VODNÍCH DÍLECH

Přelivy na vodních dílech plní především funkci částí bezpečnostních objektů. Musí být na každé vodní nádrži, do které přitéká voda z povodí. Kapacita přelivu níže položené nádrže musí být minimálně stejná jako kapacita přelivu nádrže výše položené. Dvouúrovňové varianty bylo využito například u návrhu nového bezpečnostního přelivu na řece Ostravici – na vodním díle Šance [6]. Návrh počítá s výškovým rozdílem úrovní 1,7 m, délka hran je 18,5 m u nižší úrovně a 37,5 m u vyšší, vše s ohledem na požadovaný tvar měrné křivky průtoku $Q = f(h)$.

2.4 ÚČEL PROVEDENÍ HYDRAULICKÉHO VÝZKUMU

Při stanovení kapacity dvouúrovňových pevných přelivů se v současné době využívá sčítání průtoků přes jednotlivé dílčí přelivy. Toto řešení je používáno především z důvodu nedostatečného prozkoumání prostoru navázání dvou sousedních úrovní přelivných hran (korun) a dochází tedy k zanedbání této problematiky. Účelem hydraulického výzkumu je rozšíření znalostí tohoto problému a vytvoření a zpracování aplikovatelných výsledků, které lze využít pro projekční a výzkumné účely či numerické modelování.

3 MODELOVÁ PODOBNOST

Pro posuzování modelovaných jevů, které vzniknou na skutečné konstrukci, musíme zajistit podobnost proudění skutečného a proudění na modelu. Mechanická podobnost dvou jevů je dosažena, pokud jsou splněny následující podmínky podobnosti:

- a) **geometrické**
- b) **kinematické**
- c) **dynamické**

Podmínky dynamické podobnosti vyžadují automaticky splnění dvou uvedených a) i b).

V následujících kapitolách označíme veličiny uvažované na modelu indexem 1, veličiny skutečné indexem 2.

3.1 GEOMETRICKÁ PODOBNOST

Platnost geometrické podobnosti je zaručena v případě, že všechny odpovídající si rozměry mají stálý poměr – délkové měřítko M_L :

$$M_L = \frac{L_2}{L_1}; L_2 = M_L \cdot L_1 . \quad (3.1)$$

Poměr musí být také zachován i u ploch, pro měřítko ploch M_S platí:

$$M_S = \frac{S_2}{S_1}; M_S = M_L^2 . \quad (3.2)$$

Jako poslední jmenujme měřítko objemů M_V :

$$M_V = \frac{V_2}{V_1}; M_V = M_L^3 . \quad (3.3)$$

3.2 KINEMATICKÁ PODOBNOST

Jestliže má kinematická podobnost mezi dvěma objekty platit, musí být splněn následující předpoklad. Dráhy, které jsou opisovány sobě odpovídajícími částicemi proudu v úměrně odpovídajících si dobách, si sobě odpovídají – jsou podobné. Měřítka délek je tedy doplněno o měřítko času M_t :

$$M_t = \frac{t_2}{t_1}; t_2 = M_t \cdot t_1 . \quad (3.4)$$

Odvozením dostáváme následující měřítka:

a) rychlostní měřítko – M_v :

$$M_v = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\frac{L_2}{t_2}}{\frac{L_1}{t_1}} = \frac{\frac{L_2}{L_1}}{\frac{t_2}{t_1}} = \frac{M_L}{M_t}; v_2 = M_v \cdot v_1 . \quad (3.5)$$

b) měřítko zrychlení – M_a :

$$M_a = \frac{a_2}{a_1} = \frac{\frac{L_2}{t_2^2}}{\frac{L_1}{t_1^2}} = \frac{\frac{L_2}{L_1}}{\frac{t_2^2}{t_1^2}} = \frac{M_L}{M_t^2} . \quad (3.6)$$

c) měřítko průtoků – M_Q :

$$M_Q = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\frac{V_2}{t_2}}{\frac{V_1}{t_1}} = \frac{\frac{V_2}{V_1}}{\frac{t_2}{t_1}} = \frac{M_L^3}{M_t} . \quad (3.7)$$

3.3 DYNAMICKÁ PODOBNOST

Další podmínkou je podmínka dynamické podobnosti. Ta požaduje, aby poměr byl určen měřítkem sil – M_F :

$$M_F = \frac{F_2}{F_1}; F_2 = M_F \cdot F_1 . \quad (3.8)$$

Určujeme také měřítko hmotností – M_m pro hmotnosti proudící kapaliny:

$$M_m = \frac{m_2}{m_1}; m_2 = M_m \cdot m_1 . \quad (3.9)$$

Následuje měřítko měrných hmotností – M_ρ :

$$M_\rho = \frac{\rho_2}{\rho_1} . \quad (3.10)$$

Pokud do silové rovnice (3.11) zavedeme poměry uvedené výše, dostaneme rovnici (3.12), ta označuje Newtonovo bezrozměrné kritérium. Rovnice (3.12) dále označuje obecný Newtonův zákon podobnosti.

$$F = m \cdot a \quad , \quad (3.11)$$

$$\frac{F}{\rho \cdot v^2 \cdot L^2} = \text{idem} \quad . \quad (3.12)$$

Dvě proudění jsou mechanicky podobná, má-li zlomek v Newtonovu bezrozměrném kritériu (3.12) stejnou hodnotu pro obě proudění.

Proudění kapalin je doprovázeno především silami tíže, tření a povrchového napětí. Pokud působí jen jeden druh sil (nebo je dominantní) lze z obecného Newtonova zákona při platnosti zjednodušujících předpokladů odvodit další kritéria:

a) převažující účinek sil tíže

V případě převažujících sil tíže lze uplatnit Froudeovův zákon podobnosti vyjádřený rovnicí (3.15). Ta vznikne jako reciproční hodnota rovnice (3.14). Do obecného Newtonova zákona (3.12) dosazujeme tíhu (převažující sílu), vznikne tak rovnice (3.13). Podmínkou podobnosti je v tomto případě stejná hodnota Froudeova kritéria na modelu i ve skutečnosti.

$$F = G = m \cdot g \quad (3.13)$$

$$\frac{m \cdot g}{\rho \cdot v^2 \cdot L^2} = \frac{m \cdot g \cdot L}{\rho \cdot v^2 \cdot L^2} = \frac{m \cdot g \cdot L}{m \cdot v^2} = \frac{g \cdot L}{v^2} = \text{idem} \quad (3.14)$$

$$\text{Fr} = \frac{v^2}{g \cdot L} = \text{idem} \quad (3.15)$$

Froudeovův zákon využíváme především při proudění o volné hladině, tedy při proudění v řekách, u vodních staveb – jezů, přelivů apod. a také při proudění vodními turbínami či čerpadly. Uplatnění je i při řešení účinků vln.

b) převažující účinek sil tření

Rovnice (3.16) vyjadřuje Reynoldsovo kritérium podobnosti. Odvozená je opět z rovnice (3.12). Při převažujících silách tření je podmínkou podobnosti stejná hodnota Reynoldsova kritéria pro model i pro skutečnost:

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} = \text{idem} . \quad (3.16)$$

Na rozdíl od Froudeova zákona se Reynoldsův zákon podobnosti zohledňuje vždy při modelování jevů bez volné hladiny. K těm řadíme zejména tlakové proudění v potrubí, obtékání těles či částí staveb apod.

c) převažující účinek sil povrchového napětí

Síly jsou při této variantě dány součinem povrchového napětí σ a délky L :

$$F = \sigma \cdot L \quad (3.17)$$

Dosazením do Newtonova kritéria a úpravou získáme bezrozměrné Weberovo kritérium (3.18) vyjadřující Weberův zákon podobnosti. Podobnost je zaručena, pokud je hodnota Weberova kritéria pro model i pro skutečnost shodná:

$$We = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot L}{\sigma} = \text{idem} . \quad (3.18)$$

Kromě výše uvedených zákonů se dále využívá:

d) Cauchyho zákon – pro objemovou stlačitelnost, je vyjádřen vztahem:

$$Ca = \frac{\rho \cdot v^2}{K} = \text{idem}, \quad (3.19)$$

ve kterém K označuje modul objemové stlačitelnosti.

e) Strouhalův zákon – pro podobnost dvou neustálených jevů:

$$Sh = \frac{L}{v \cdot t} = \text{idem}, \quad (3.20)$$

f) Karmánův zákon – pro podobnost dvou turbulentních jevů:

$$Ka = \frac{v'}{v} = \text{idem}, \quad (3.21)$$

kde v' je označení pulsace rychlosti.

Měřítka podobnosti vztahujeme vždy k odpovídající podobnosti dle převažující síly.

3.4 MEZE MECHANICKÉ PODOBNOSTI PRO OSTROHRANNÝ PŘELIV

Velmi důležitou součástí podmínek mechanické podobnosti jsou i meze, ve kterých lze hydraulický jev modelovat pomocí jednoho z výše uvedených podobnostních kritérií (především Froudeova, Reynoldsova a Weberova). Pokud jsou tyto meze překročeny, dochází k ovlivnění výsledků modelového výzkumu spolupůsobením ostatních sil a hledané stanovované hodnoty hydraulických charakteristik jsou zatíženy větší nejistotou, než garantujeme. Musíme tedy dodržet oblasti a měřítka pro modelování.

Pro proudění s volnou hladinou jsme využili zákon Froudeův. U tohoto kritéria podobnosti hraje důležitou roli především výška přepadového paprsku h . U přelivů s přímou přelivnou ostrou hranou je za dolní mezní hodnotu považováno 60 mm. Při nižších hodnotách, zejména pod 20 mm, dochází k narušení parabolického tvaru paprsku působícími kapilárními silami.

Informace o mechanické podobnosti a jejich mezích byly převzaty z literatury [1], [2] a [4].

Jak vyplývá ze zkušeností pracovníků laboratoře podložených měřeními charakteristik mnoha ostrohranných přelivů lze **z kapacitního hlediska** považovat za dolní mez automodelovosti výšku přepadového paprsku $h = 40$ mm. Uvedená mez platí pro přelivy s horizontální ostrou hranou.

4 POPIS MODELU, MĚRNÉ TRATĚ A MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

4.1 MODEL – TVARY PŘELIVŮ

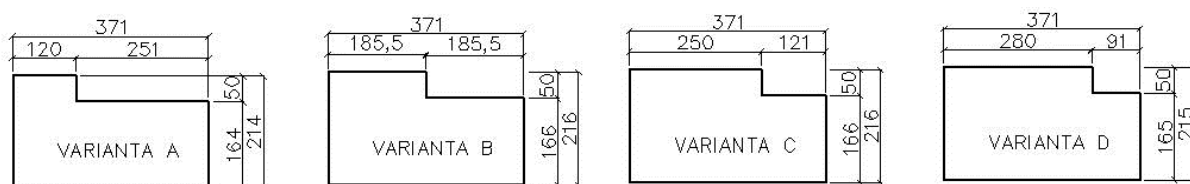
Aby bylo postihnuto více poměrů nižší a vyšší úrovně přelivné hrany, byly při modelování použity dvě varianty jednoúrovňových ostrohranných etalonů při zavzdušnění prostoru pod přepadovým paprskem a 4 varianty dvouúrovňových ostrohranných přelivů označených písmeny A – D (obrázek 4.1 a 4.2), taktéž při zavzdušnění prostoru pod přepadovým paprskem. Všechny alternativy byly vyrobeny z nerezového plechu tl. 1,2 mm. Schéma rozměrů jednotlivých, již umístěných, přelivů jsou na obrázku 4.3. Všechny přelivy byly kolmé k rovině symetrie žlabu. Pro přehlednost je přiložena tabulka obsahující údaje o jednotlivých přelivech (tabulka 4.1). Přelivné hrany byly vždy vodorovné.



Obr. 4.1 Fotografie vyjmutých plechů použitých ke kapacitním zkouškám přelivů



Obr. 4.2 Porovnávací fotografie vyjmutých plechových vestaveb použitých pro zkoušky přelivů

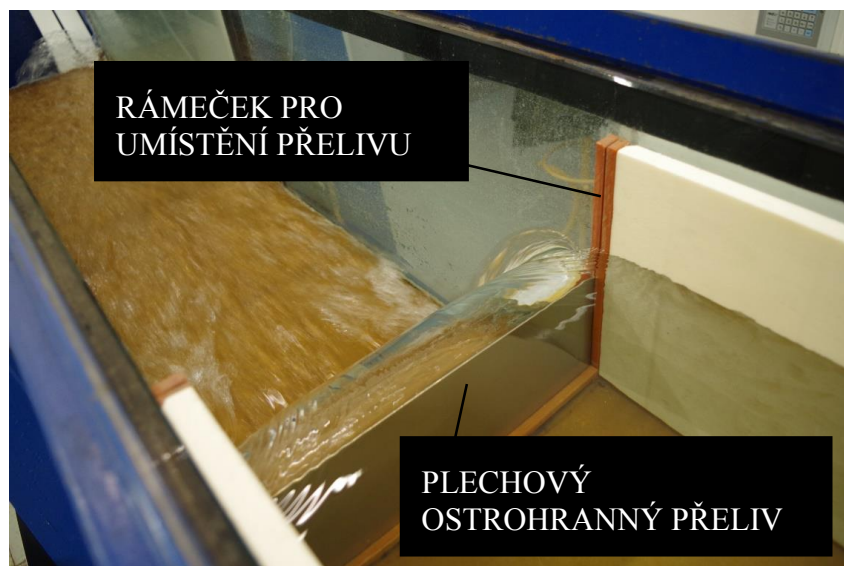


Obr. 4.3 Schéma rozměrů přelivů

Tab. 4.1 Přehledné zobrazení rozměrů jednotlivých variant přelivu

Varianta	Šířka nižší úrovně b_1 [mm]	Šířka vyšší úrovně b_2 [mm]	Úroveň hrany [mm]	Poměr b_1/b_2 [-]
Etalon – vyšší	373		215	-
Etalon – nižší	373		165	-
Varianta A	251	120	164 (nižší)	251/120
Varianta B	185,5	185,5	166 (nižší)	185,5/185,5
Varianta C	121	250	166 (nižší)	121/250
Varianta D	91	280	165 (nižší)	91/280

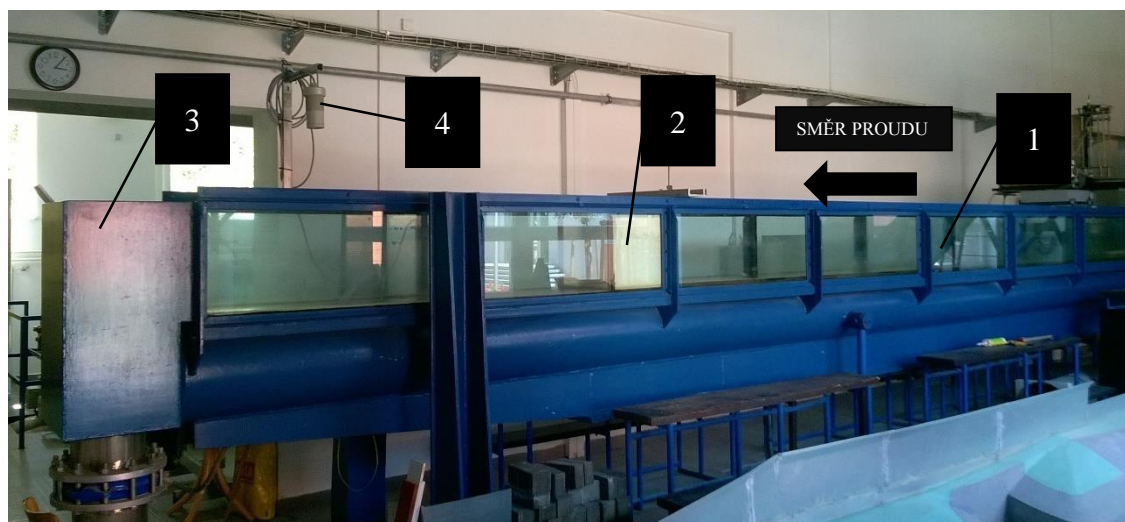
Pro umístění přepážek sloužil rámeček nalepený na stěnách a dně proskleného žlabu s náběhovými bočními stěnami z polystyrenu tloušťky 2 cm. Rozšíření průřezu za rámečkem v poproudním směru zajistilo zavzdušnění proudového paprsku (obrázek 4.4). Nalepené boční polystyrenové desky délky 450 mm zajistily homogenní rovinný nátok proudu na přeliv (2D proudění).



Obr. 4.4 Rámeček s umístěným etalonem

4.2 POPIS MĚRNÉ TRATĚ A MĚŘICÍHO VYBAVENÍ

Měření probíhalo v Laboratořích vodohospodářského výzkumu v budově F Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně. Měrná trať se skládá z proskleného žlabu šířky 410 mm (obrázek 4.5), do kterého je přiváděna voda čerpadly. Přeliv byl umístěn v rámečku z novoduru, do kterého se instaloval zasunutím shora. Průtok je regulován automatizovaným systémem propojeným s ultrazvukovými čidly snímajícími úroveň hladiny na Thomsonově přelivu (obrázek 4.6) a v kontrolních profilech (proti přelití žlabu). Po uklidnění proudu na hladině stabilizovanou polystyrenovou deskou přechází voda do místa, kde je umístěn přeliv. Překonáním přelivu se dostává k odpadové šachtě a odtéká zpět do nádrže. Hodnota průtoku se nastavuje na ovládací jednotce (obrázek 4.7), odečet pětiminutových průměrů průtoku se poté realizuje na jednotce vyhodnocovací (obrázek 4.8). Přelití žlabu zabraňuje bezpečnostní pojistné čidlo, které zcela vypne všechna čerpadla při překročení určité úrovně hladiny. Přepadová výška h , měřená od nižších úrovní přelivů, se odečítala z digitálního hrotového měřidla.



Obr. 4.5 Fotografie měrné trati: 1 – skleněný žlab; 2 – přeliv a hrotové měřítko; 3 – odpadová šachta; 4 – ultrazvukové pojistné čidlo; šipka – směr proudění vody



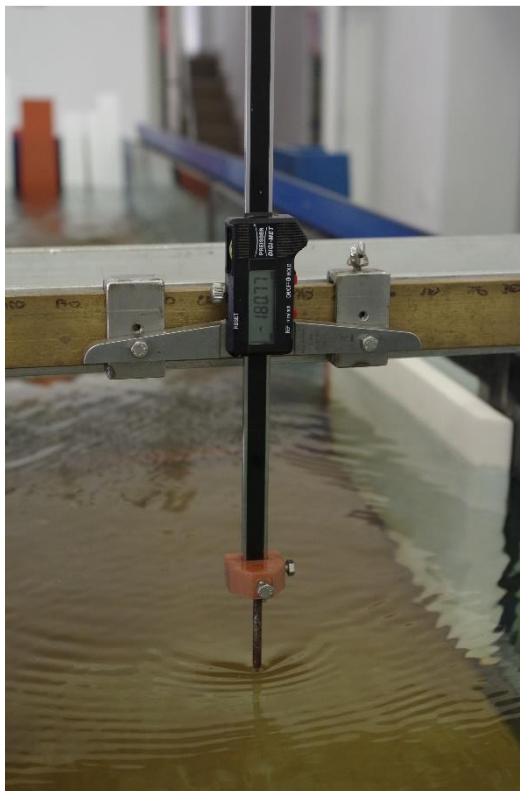
Obr. 4.6 Fotografie měrné trati – fotografie Thomsonova měrného přelivu: 1 – ultrazvuková sonda č.1; 2 – ultrazvuková sonda č.2 (slouží jako varovná „pojistka“ proti přelití žlabu); 3 – Thomsonův měrný přeliv; 4 – uklidňovací polystyrenová deska



Obr. 4.7 Fotografie ovládací jednotky

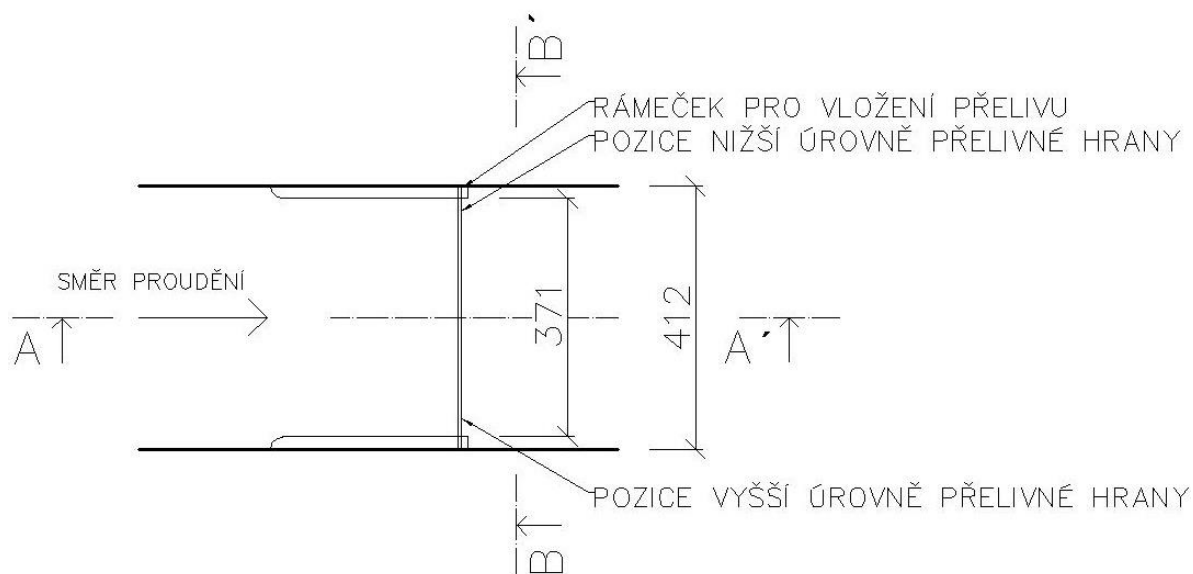


Obr. 4.8 Fotografie vyhodnocovací jednotky

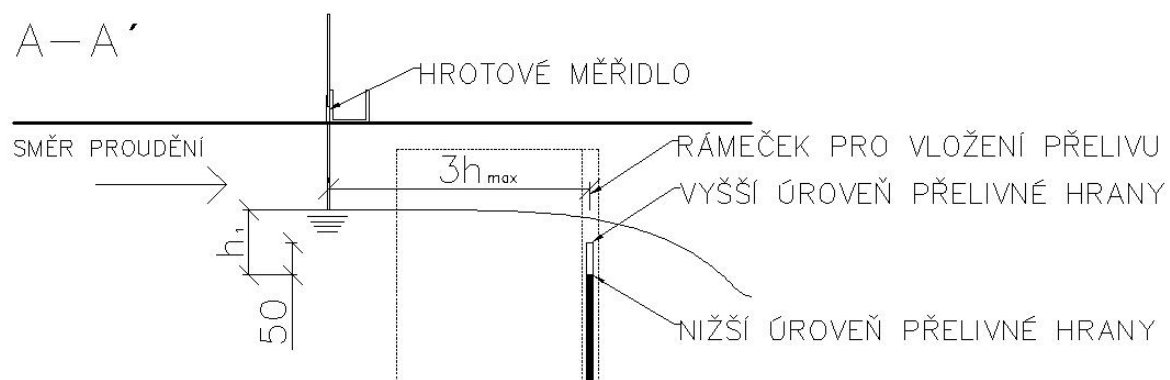


Obr. 4.9 Fotografie digitálního hrotového měřidla sloužícího k odečítání hodnot přepadové výšky h

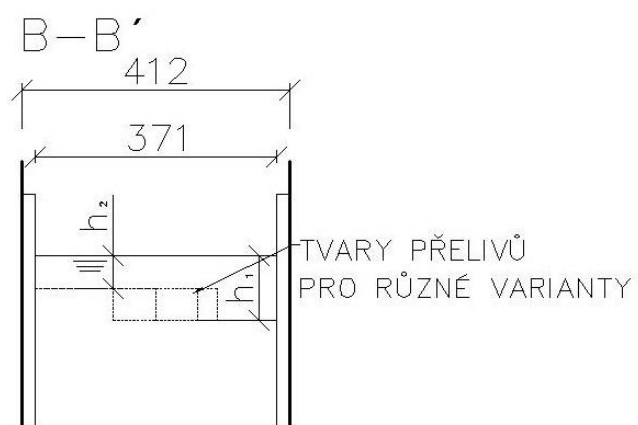
Na následujících schématech je označená nižší a vyšší úroveň přelivných hran a způsob měření přepadových výšek hrotovým měřidlem.



Obr. 4.10 Schematický půdorys měrného žlabu



Obr. 4.11 Schematický řez A-A' měrným žlabem, zobrazení způsobu měření přepadové výšky h



Obr. 4.12 Schematický řez B-B' měrným žlabem, zobrazení jednotlivých tvarů

5 MĚŘENÍ NA TRATI

5.1 ÚČEL ZKOUŠEK

Účelem zkoušek je zjistit, zda vliv chyby při sčítání dílčích průtoků stanovených obvyklými výpočtovými postupy (superpoziční přístupy) přes vyšší a nižší úroveň přeléváných hran čistých (nekorigovaných) šířek je větší než chyba hodnoty stanoveného průtoku na hydraulické trati. Žádoucí je také kvantifikovat tento vliv pro různé poměry jednotlivých šířek zkoušených přelivů na trati (rozdílné šířky b_1 , b_2). Výsledky jsou zpracovány v aplikovatelné formě, tedy v bezrozměrném vyjádření, a to jak pro výzkumné, tak projekční účely. Využití lze najít také v numerickém modelování.

5.2 POSTUP PRACÍ

Po umístění konkrétního přelivu do rámečku a zajištění jeho přelivné hrany ve vodorovné rovině se nastavil průtok na vstupní jednotce. Do ustálení hydraulického jevu bylo nutné počkat s vlastním měřením úrovní hladin. Po uklidnění hladiny a zkontrolování synchronizace v laboratorním systému bylo možno odečítat výšku přepadového paprsku. Posuvné digitální měřítko zobrazovalo hodnoty s přesností na setiny milimetru. Reálně této přesnosti nešlo využít, zejména kvůli výkyvům hladiny. Úroveň dolní vody byla měřena kovovým pravítkem, přesnost odpovídala jednomu milimetru. Skutečný průtok byl zjišťován z řídicí jednotky, která vyhodnocuje pětiminutové průměry v l.s^{-1} se zaokrouhlením na setiny. Měření probíhalo pro 2 etalony s vyšší a nižší úrovní přelivné hrany v podobě ostrohranných přelivů a dále pak pro čtyři dvouúrovňové přelivy ve variantách A, B, C a D. Během zkoušek byla pořizována fotodokumentace každé z variant pro určité průtoky. Pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany a u dvouúrovňových přelivů probíhalo měření při dokonalém přepadu v řadách průtoků (5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 27, 30, 33, 36 a 39) l.s^{-1} a v řadách za nedokonalého přepadu (20, 23, 27, 30, 33 a 36) l.s^{-1} , a to vždy pro pět úrovní hladiny dolní vody. Pro každý přeliv byla tímto postupem získána měrná křivka průtoku. Využito bylo poznatků z [7].

5.3 POSTUP MĚŘENÍ – FOTOGRAFIE



Obr. 5.1 Etalon s vyšší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu, $s = 214 \text{ mm}$, $Q = 5 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.2 Etalon s vyšší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu, $s = 214 \text{ mm}$, $Q = 36 \text{ l.s}^{-1}$



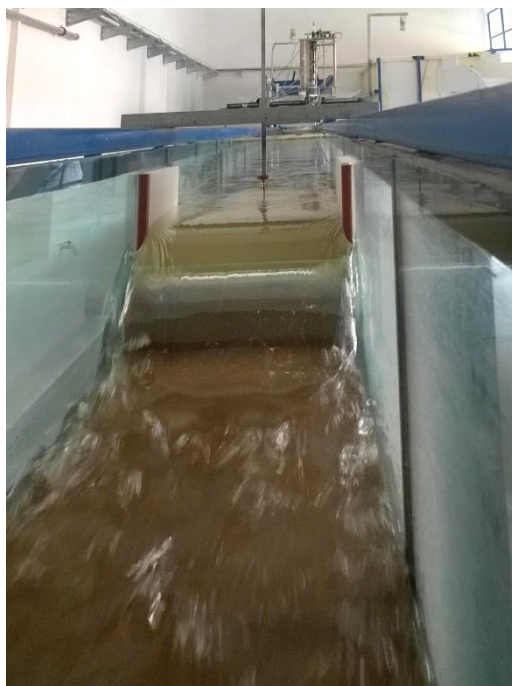
Obr. 5.3 Etalon s vyšší úrovní přelivné hrany za nedokonalého přepadu, $s = 214 \text{ mm}$, $Q = 30 \text{ l.s}^{-1}$



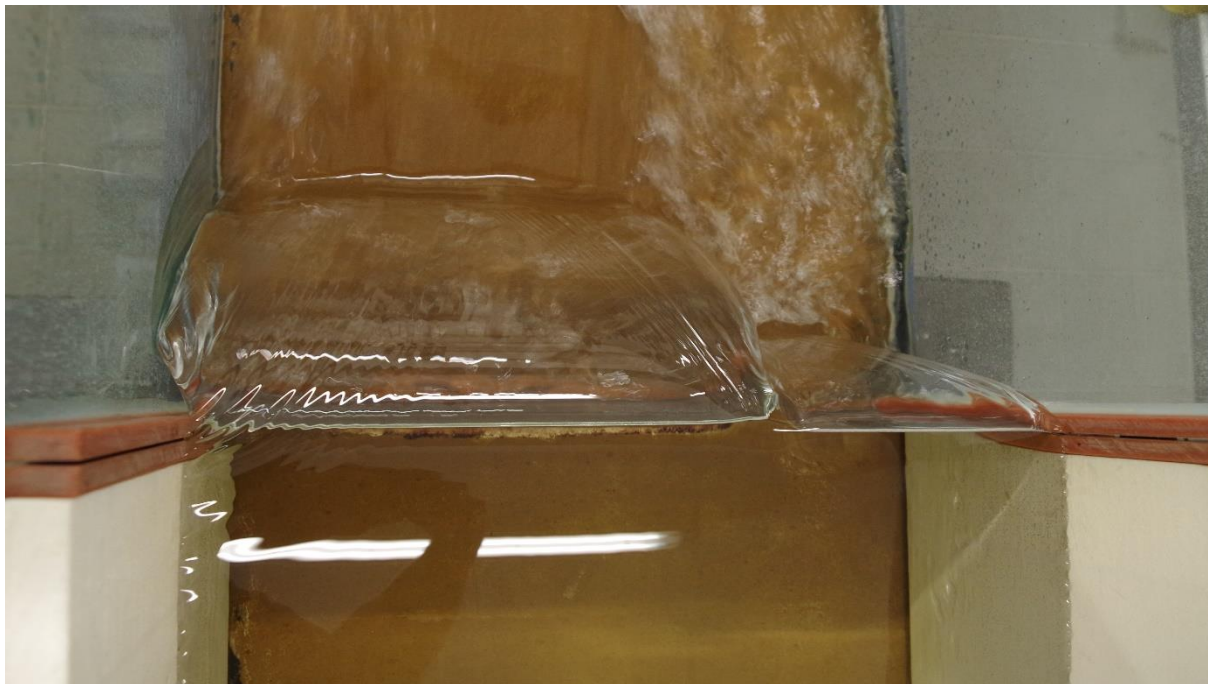
Obr. 5.4 Etalon s nižší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu, $s = 165 \text{ mm}$, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.5 Etalon s nižší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu – boční pohled, $s = 165$ mm,
 $Q = 30 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.6 Etalon s nižší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu – čelní pohled, $s = 165$ mm,
 $Q = 30 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.7 Varianta A za dokonalého přepadu – pohled shora, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$



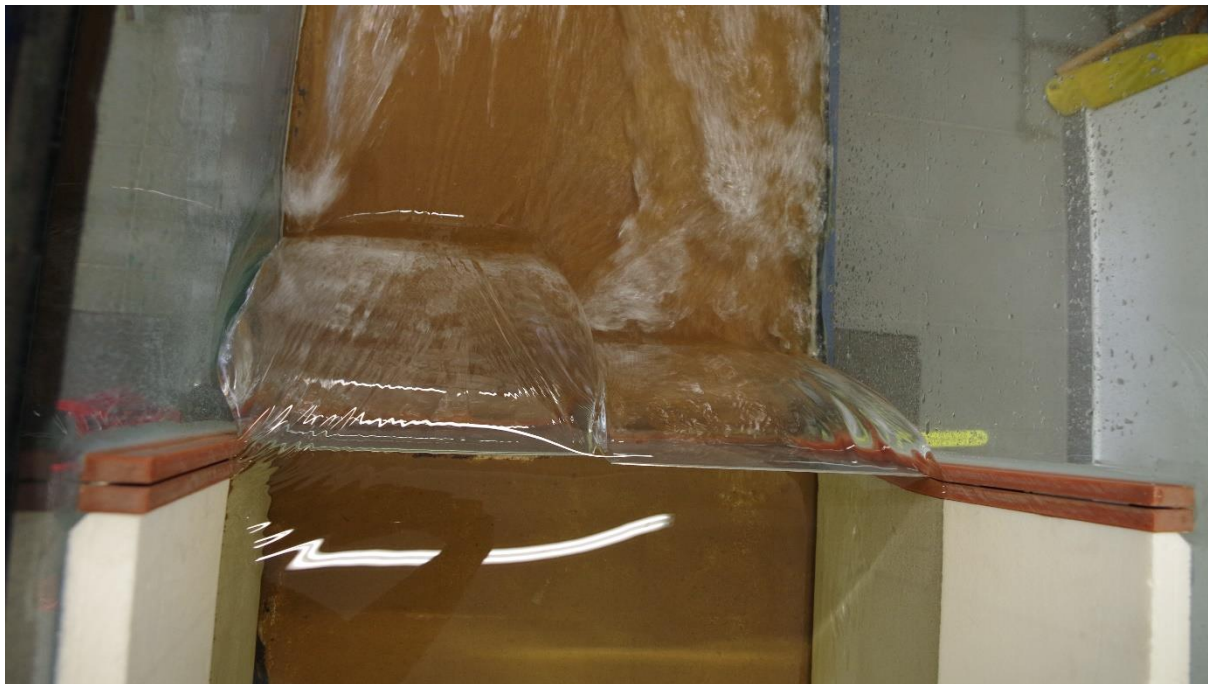
Obr. 5.8 Varianta A za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$



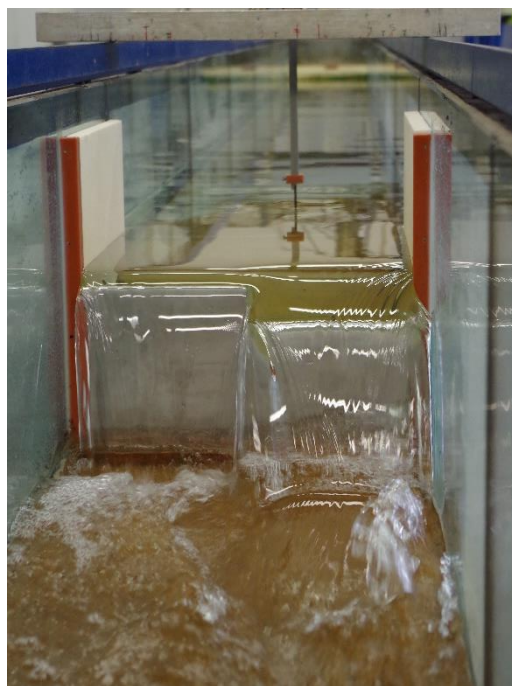
Obr. 5.9 Varianta A za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.10 Varianta A za nedokonalého přepadu – délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.11 Varianta B za dokonalého přepadu – pohled shora, délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$



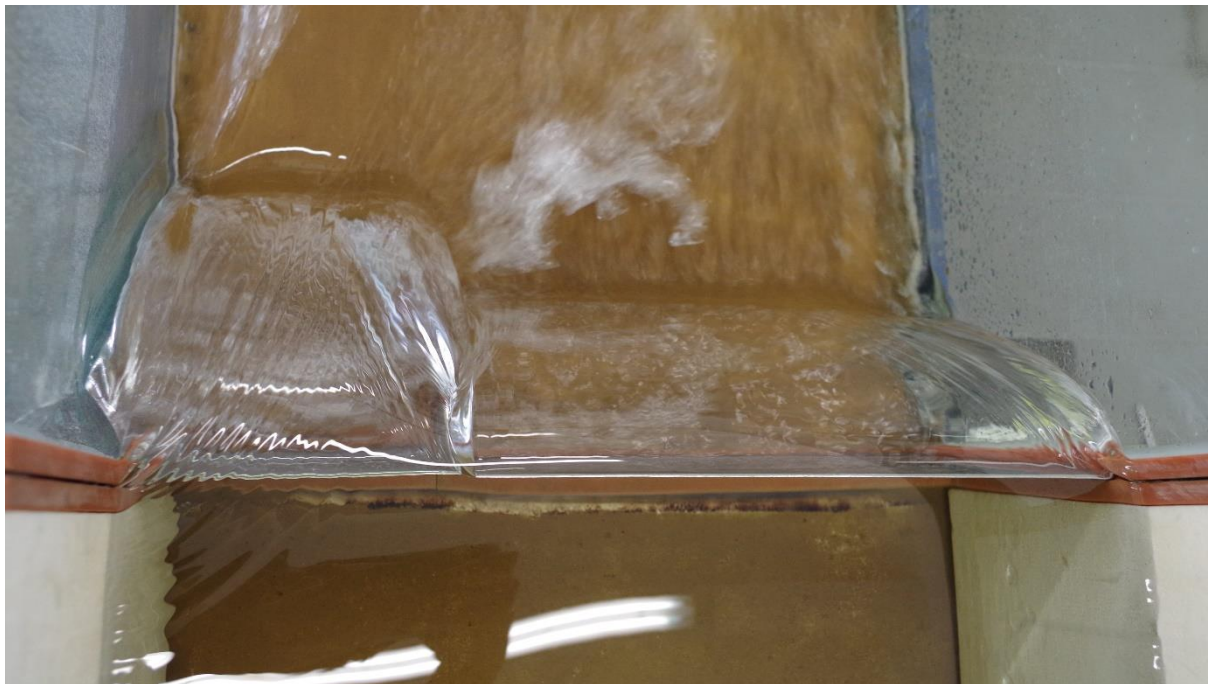
Obr. 5.12 Varianta B za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.13 Varianta B za dokonalého přepadu – délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.14 Varianta B za nedokonalého přepadu – délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.15 Varianta C za dokonalého přepadu – pohled shora, délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.16 Varianta C za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.17 Varianta C za dokonalého přepadu – délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.18 Varianta C za nedokonalého přepadu – délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.19 Varianta D za dokonalého přepadu – pohled shora, délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.20 Varianta D za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.21 Varianta D za dokonalého přepadu – délka nižší úrovně 91 mm,
délka vyšší úrovně 280 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$



Obr. 5.22 Varianta D za nedokonalého přepadu – délka nižší úrovně 91 mm,
délka vyšší úrovně 280 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$

6 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

6.1 DOKONALÝ PŘEPAD

6.1.1 Stanovení kapacitní závislosti

Naměřené veličiny byly přehledně zapisovány do tabulkového procesoru Microsoft Excel. V tabulkách jsou pro přímé přelivy za dokonalého přepadu zaznamenány: nastavený a skutečný průtok Q (v $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ a v $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), přepadová výška h , energetická přepadová výška h_0 , součinitel přepadu m , vypočítaný dle rovnice (6.1) a součinitel přepadu po započítání vlivu přítokové rychlosti (v_0) m' dle rovnice (6.2). Šířka b je uvažována bez zúžení, hodnota Coriolisova kritéria α rovna jedné.

$$m = \frac{Q}{b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{3}{2}}} \quad (6.1)$$

$$m' = \frac{Q}{b \cdot \sqrt{2g} \left(h + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (6.2)$$

U dvouúrovňových alternativ jsou zaznamenány přepadové výšky pro obě úrovně – pro nižší h_1 a pro vyšší h_2 a energetické přepadové výšky pro obě úrovně – pro nižší h_{01} a pro vyšší h_{02} . Hodnoty m a m' jsou v tomto případě získány z náhradních funkcí v grafu 6.1 a 6.2 pro etalon s nižší úrovní přelivné hrany, respektive 6.3 a 6.4 pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany. U tabulek nedokonalého přepadu jsou dále obsaženy hodnoty výšek zatopení h_z , což jsou hodnoty rozdílů hloubek dolní vody a nižších úrovní přelivných hran. Hodnota dat (na setiny mm) je volena s ohledem na statistické zpracování odečtů úrovně hladiny. Vzhledem k nejistotám ostatních i výstupních hodnot by postačila přesnost nižší.

V následujících tabulkách jsou výsledky hydraulických charakteristik pro nezatopené přelivy.

Tab. 6.1 Charakteristiky etalonu s vyšší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu

Průtok Q [l.s^{-1}]		Průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]	h [mm]	h_0 [mm]	m	m'
nastavený	skutečný					
0.00	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.000	0.000
5.00	4.84	0.00484	35.32	35.46	0.441	0.439
8.00	7.75	0.00775	48.71	49.02	0.436	0.432
11.00	10.81	0.01081	60.37	60.93	0.441	0.435
14.00	13.77	0.01377	71.04	71.89	0.440	0.432
17.00	16.78	0.01678	81.49	82.67	0.437	0.427
20.00	19.78	0.01978	90.73	92.27	0.438	0.427
23.00	22.71	0.02271	98.95	100.87	0.442	0.429
27.00	26.65	0.02665	109.99	112.46	0.442	0.428
30.00	29.67	0.02967	117.43	120.35	0.446	0.430
33.00	32.89	0.03289	125.21	128.63	0.449	0.432
36.00	35.64	0.03564	132.22	136.08	0.449	0.430
39.00	38.74	0.03874	139.79	144.15	0.449	0.428

Tab. 6.2 Charakteristiky etalonu s nižší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu

Průtok Q [l.s^{-1}]		Průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]	h [mm]	h_0 [mm]	m	m'
nastavený	skutečný					
0.00	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.000	0.000
5.00	4.80	0.00480	36.96	37.17	0.409	0.405
8.00	7.78	0.00778	49.83	50.31	0.423	0.417
11.00	10.77	0.01077	61.83	62.66	0.424	0.416
14.00	13.71	0.01371	72.28	73.50	0.427	0.416
17.00	16.77	0.01677	81.40	83.10	0.437	0.424
20.00	19.77	0.01977	90.27	92.47	0.441	0.426
23.00	22.85	0.02285	99.19	101.93	0.443	0.425
27.00	26.75	0.02675	109.29	112.77	0.448	0.428
30.00	29.77	0.02977	116.60	120.70	0.453	0.430
33.00	32.72	0.03272	124.36	129.04	0.452	0.427
36.00	35.80	0.03580	131.33	136.68	0.455	0.429
39.00	38.71	0.03871	138.88	144.83	0.453	0.425

Tab. 6.3 Charakteristiky přelivu A za dokonalého přepadu, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm

Průtok Q [l.s^{-1}]		Průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]	h_1 [m]	h_2 [m]	h_{01} [m]	h_{02} [m]	m_1	m_2	m_1'	m_2'
nast.	skut.									
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.00	4.82	0.00482	0.04726	0.00000	0.04746	0.00000	0.417	0.000	0.411	0.000
8.00	7.76	0.00776	0.06263	0.01263	0.06307	0.01307	0.425	0.449	0.417	0.449
11.00	10.77	0.01077	0.07475	0.02475	0.07551	0.02551	0.432	0.444	0.420	0.442
14.00	13.66	0.01366	0.08551	0.03551	0.08662	0.03662	0.438	0.441	0.423	0.438
17.00	16.78	0.01678	0.09592	0.04592	0.09747	0.04747	0.443	0.439	0.426	0.435
20.00	19.81	0.01981	0.10549	0.05549	0.10749	0.05749	0.447	0.438	0.427	0.433
23.00	22.69	0.02269	0.11289	0.06289	0.11538	0.06538	0.449	0.438	0.428	0.431
27.00	26.68	0.02668	0.12368	0.07368	0.12686	0.07686	0.452	0.438	0.428	0.430
30.00	29.71	0.02971	0.13212	0.08212	0.13584	0.08584	0.454	0.439	0.428	0.429
33.00	32.92	0.03292	0.14000	0.09000	0.14434	0.09434	0.454	0.440	0.426	0.429
36.00	35.69	0.03569	0.14629	0.09629	0.15119	0.10119	0.454	0.441	0.425	0.429
39.00	38.80	0.03880	0.15394	0.10394	0.15945	0.10945	0.453	0.442	0.422	0.429

Tab. 6.4 Charakteristiky přelivu B za dokonalého přepadu, délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm

Průtok Q [l.s^{-1}]		Průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]	h_1 [m]	h_2 [m]	h_{01} [m]	h_{02} [m]	m_1	m_2	m_1'	m_2'
nast.	skut.									
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.00	4.82	0.00482	0.05612	0.00612	0.05629	0.00629	0.422	0.453	0.414	0.453
8.00	7.78	0.00778	0.07039	0.02039	0.07079	0.02079	0.430	0.446	0.419	0.445
11.00	10.78	0.01078	0.08321	0.03321	0.08391	0.03391	0.437	0.442	0.423	0.439
14.00	13.63	0.01363	0.09336	0.04336	0.09439	0.04439	0.442	0.439	0.425	0.436
17.00	16.77	0.01677	0.10401	0.05401	0.10544	0.05544	0.446	0.438	0.427	0.433
20.00	19.77	0.01977	0.11287	0.06287	0.11473	0.06473	0.449	0.438	0.428	0.431
23.00	22.77	0.02277	0.12158	0.07158	0.12390	0.07390	0.452	0.438	0.428	0.430
27.00	26.73	0.02673	0.13264	0.08264	0.13561	0.08561	0.454	0.439	0.428	0.429
30.00	29.70	0.02970	0.13994	0.08994	0.14343	0.09343	0.454	0.440	0.426	0.429
33.00	32.66	0.03266	0.14732	0.09732	0.15134	0.10134	0.454	0.441	0.425	0.429
36.00	35.73	0.03573	0.15411	0.10411	0.15872	0.10872	0.452	0.442	0.423	0.429
39.00	38.70	0.03870	0.16174	0.11174	0.16691	0.11691	0.450	0.444	0.420	0.429

Tab. 6.5 Charakteristiky přelivu C za dokonalého přepadu, délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm

Průtok Q [l.s^{-1}]		Průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]	h_1 [m]	h_2 [m]	h_{01} [m]	h_{02} [m]	m_1	m_2	m_1'	m_2'
nast.	skut.									
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.00	4.84	0.00484	0.06564	0.01564	0.06580	0.01580	0.427	0.448	0.418	0.447
8.00	7.82	0.00782	0.08032	0.03032	0.08069	0.03069	0.435	0.442	0.422	0.440
11.00	10.82	0.01082	0.09222	0.04222	0.09287	0.04287	0.441	0.440	0.425	0.436
14.00	13.73	0.01373	0.10280	0.05280	0.10377	0.05377	0.446	0.438	0.427	0.433
17.00	16.78	0.01678	0.11285	0.06285	0.11419	0.06419	0.449	0.438	0.428	0.431
20.00	19.65	0.01965	0.12190	0.07190	0.12362	0.07362	0.452	0.438	0.428	0.430
23.00	22.69	0.02269	0.12951	0.07951	0.13169	0.08169	0.453	0.439	0.428	0.430
27.00	26.78	0.02678	0.14163	0.09163	0.14444	0.09444	0.454	0.440	0.426	0.429
30.00	29.66	0.02966	0.14908	0.09908	0.15236	0.10236	0.453	0.441	0.425	0.429
33.00	32.71	0.03271	0.15641	0.10641	0.16022	0.11022	0.452	0.443	0.422	0.429
36.00	35.71	0.03571	0.16445	0.11445	0.16877	0.11877	0.449	0.444	0.419	0.429
39.00	38.80	0.03880	0.17146	0.12146	0.17636	0.12636	0.446	0.446	0.415	0.429

Tab. 6.6 Charakteristiky přelivu D za dokonalého přepadu, délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm

Průtok Q [l.s^{-1}]		Průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]	h_1 [m]	h_2 [m]	h_{01} [m]	h_{02} [m]	m_1	m_2	m_1'	m_2'
nast.	skut.									
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.00	4.82	0.00482	0.07081	0.02081	0.07097	0.02097	0.430	0.446	0.419	0.445
8.00	7.79	0.00779	0.08467	0.03467	0.08503	0.03503	0.437	0.441	0.423	0.439
11.00	10.78	0.01078	0.09694	0.04694	0.09757	0.04757	0.443	0.439	0.426	0.435
14.00	13.73	0.01373	0.10750	0.05750	0.10844	0.05844	0.448	0.438	0.427	0.432
17.00	16.86	0.01686	0.11830	0.06830	0.11961	0.06961	0.451	0.438	0.428	0.431
20.00	19.73	0.01973	0.12640	0.07640	0.12810	0.07810	0.453	0.438	0.428	0.430
23.00	22.80	0.02280	0.13536	0.08536	0.13749	0.08749	0.454	0.439	0.427	0.429
27.00	26.86	0.02686	0.14662	0.09662	0.14937	0.09937	0.454	0.441	0.425	0.429
30.00	29.74	0.02974	0.15358	0.10358	0.15681	0.10681	0.453	0.442	0.423	0.429
33.00	32.93	0.03293	0.16068	0.11068	0.16447	0.11447	0.451	0.444	0.421	0.429
36.00	35.87	0.03587	0.16844	0.11844	0.17273	0.12273	0.448	0.445	0.417	0.429
39.00	38.83	0.03883	0.17473	0.12473	0.17957	0.12957	0.444	0.447	0.413	0.429

Následují tabulky charakteristik zatopených přelivů:

Tab. 6.7 Charakteristiky etalonu s vyšší úrovní přelivné hrany za nedokonalého přepadu

Průtok Q_i [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]		Průtok Q [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]	h_h [mm]	h_h [m]	h_z [mm]	h_z [m]
nastavený	skutečný					
20,00	19,76	0,01976	90,67	0,09067	15	0,015
			98,45	0,09845	46	0,046
			101,13	0,10113	56	0,056
			110,67	0,11067	79	0,079
			122,08	0,12208	100	0,100
23,00	22,71	0,02271	102,64	0,10264	33	0,033
			103,61	0,10361	39	0,039
			107,21	0,10721	51	0,051
			110,48	0,11048	65	0,065
			117,72	0,11772	82	0,082
27,00	26,65	0,02665	110,55	0,11055	10	0,010
			111,22	0,11122	28	0,028
			123,40	0,12340	71	0,071
			137,40	0,13740	105	0,105
			162,18	0,16218	147	0,147
30,00	29,67	0,02967	117,31	0,11731	10	0,010
			121,02	0,12102	43	0,043
			125,82	0,12582	62	0,062
			139,05	0,13905	94	0,094
			142,32	0,14232	104	0,104
33,00	32,89	0,03289	125,23	0,12523	25	0,025
			129,92	0,12992	49	0,049
			134,54	0,13454	69	0,069
			146,23	0,14623	102	0,102
			164,44	0,16444	135	0,135
36,00	35,64	0,03564	132,19	0,13219	20	0,020
			134,61	0,13461	40	0,040
			137,51	0,13751	58	0,058
			143,70	0,14370	81	0,081
			162,31	0,16231	121	0,121

Tab. 6.8 Charakteristiky přelivu A za nedokonalého přepadu, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm

Průtok Q_i [l.s^{-1}]		Průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]	h_{h1} [mm]	h_{h1} [m]	h_{h2} [mm]	h_{h2} [m]	h_{z1} [mm]	h_{z1} [m]	h_{z2} [mm]	h_{z2} [m]
nastavený	skutečný									
20,00	19,82	0,01982	120,29	0,12029	70,29	0,07029	85	0,085	35	0,035
			125,64	0,12564	75,64	0,07564	97	0,097	47	0,047
			141,34	0,14134	91,34	0,09134	124	0,124	74	0,074
			164,20	0,16420	114,20	0,11420	154	0,154	104	0,104
			203,49	0,20349	153,49	0,15349	199	0,199	149	0,149
23,00	22,82	0,02282	119,07	0,11907	69,07	0,06907	56	0,056	6	0,006
			120,59	0,12059	70,59	0,07059	64	0,064	14	0,014
			138,64	0,13864	88,64	0,08864	113	0,113	63	0,063
			165,05	0,16505	115,05	0,11505	152	0,152	102	0,102
			180,02	0,18002	130,02	0,13002	169	0,169	119	0,119
27,00	26,80	0,02680	127,96	0,12796	77,96	0,07796	57	0,057	7	0,007
			134,98	0,13498	84,98	0,08498	83	0,083	33	0,033
			139,41	0,13941	89,41	0,08941	96	0,096	46	0,046
			165,68	0,16568	115,68	0,11568	144	0,144	94	0,094
			197,56	0,19756	147,56	0,14756	187	0,187	137	0,137
30,00	29,71	0,02971	135,79	0,13579	85,79	0,08579	59	0,059	9	0,009
			144,11	0,14411	94,11	0,09411	91	0,091	41	0,041
			148,43	0,14843	98,43	0,09843	113	0,113	63	0,063
			163,44	0,16344	113,44	0,11344	132	0,132	82	0,082
			184,91	0,18491	134,91	0,13491	167	0,167	117	0,117
33,00	32,87	0,03287	142,63	0,14263	92,63	0,09263	57	0,057	7	0,007
			146,55	0,14655	96,55	0,09655	74	0,074	24	0,024
			162,03	0,16203	112,03	0,11203	122	0,122	72	0,072
			177,60	0,17760	127,60	0,12760	154	0,154	104	0,104
			200,36	0,20036	150,36	0,15036	186	0,186	136	0,136
36,00	35,81	0,03581	151,70	0,15170	101,70	0,10170	72	0,072	22	0,022
			156,94	0,15694	106,94	0,10694	98	0,098	48	0,048
			172,46	0,17246	122,46	0,12246	135	0,135	85	0,085
			181,84	0,18184	131,84	0,13184	152	0,152	102	0,102
			212,00	0,21200	162,00	0,16200	197	0,197	147	0,147

Tab. 6.9 Charakteristiky přelivu B za nedokonalého přepadu, délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm

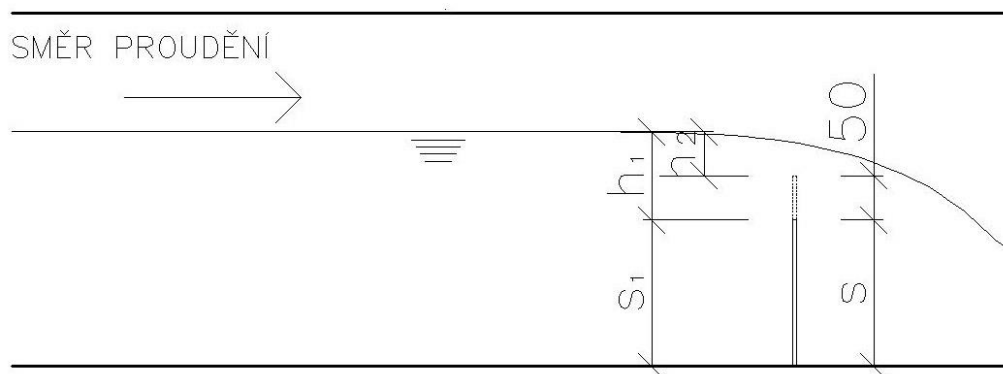
Průtok Q_i [l.s^{-1}]		Průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]	h_{h1} [mm]	h_{h1} [m]	h_{h2} [mm]	h_{h2} [m]	h_{z1} [mm]	h_{z1} [m]	h_{z2} [mm]	h_{z2} [m]
nastavený	skutečný									
20,00	19,70	0,01970	118,93	0,11893	68,93	0,06893	62	0,062	12	0,012
			123,50	0,12350	73,50	0,07350	81	0,081	31	0,031
			129,87	0,12987	79,87	0,07987	89	0,089	39	0,039
			141,46	0,14146	91,46	0,09146	120	0,120	70	0,070
			162,08	0,16208	112,08	0,11208	146	0,146	96	0,096
23,00	22,72	0,02272	125,81	0,12581	75,81	0,07581	59	0,059	9	0,009
			131,24	0,13124	81,24	0,08124	79	0,079	29	0,029
			140,40	0,14040	90,40	0,09040	103	0,103	53	0,053
			168,23	0,16823	118,23	0,11823	151	0,151	101	0,101
			206,74	0,20674	156,74	0,15674	197	0,197	147	0,147
27,00	26,77	0,02677	136,09	0,13609	86,09	0,08609	63	0,063	13	0,013
			139,18	0,13918	89,18	0,08918	74	0,074	24	0,024
			147,17	0,14717	97,17	0,09717	101	0,101	51	0,051
			159,13	0,15913	109,13	0,10913	125	0,125	75	0,075
			179,54	0,17954	129,54	0,12954	159	0,159	109	0,109
30,00	29,80	0,02980	142,15	0,14215	92,15	0,09215	51	0,051	1	0,001
			145,65	0,14565	95,65	0,09565	78	0,078	28	0,028
			151,77	0,15177	101,77	0,10177	99	0,099	49	0,049
			164,71	0,16471	114,71	0,11471	126	0,126	76	0,076
			188,51	0,18851	138,51	0,13851	167	0,167	117	0,117
33,00	32,81	0,03281	150,86	0,15086	100,86	0,10086	68	0,068	18	0,018
			155,67	0,15567	105,67	0,10567	91	0,091	41	0,041
			164,39	0,16439	114,39	0,11439	116	0,116	66	0,066
			182,58	0,18258	132,58	0,13258	151	0,151	101	0,101
			210,46	0,21046	160,46	0,16046	191	0,191	141	0,141
36,00	35,72	0,03572	157,56	0,15756	107,56	0,10756	67	0,067	17	0,017
			159,62	0,15962	109,62	0,10962	83	0,083	33	0,033
			176,35	0,17635	126,35	0,12635	130	0,130	80	0,080
			186,68	0,18668	136,68	0,13668	149	0,149	99	0,099
			205,85	0,20585	155,85	0,15585	181	0,181	131	0,131

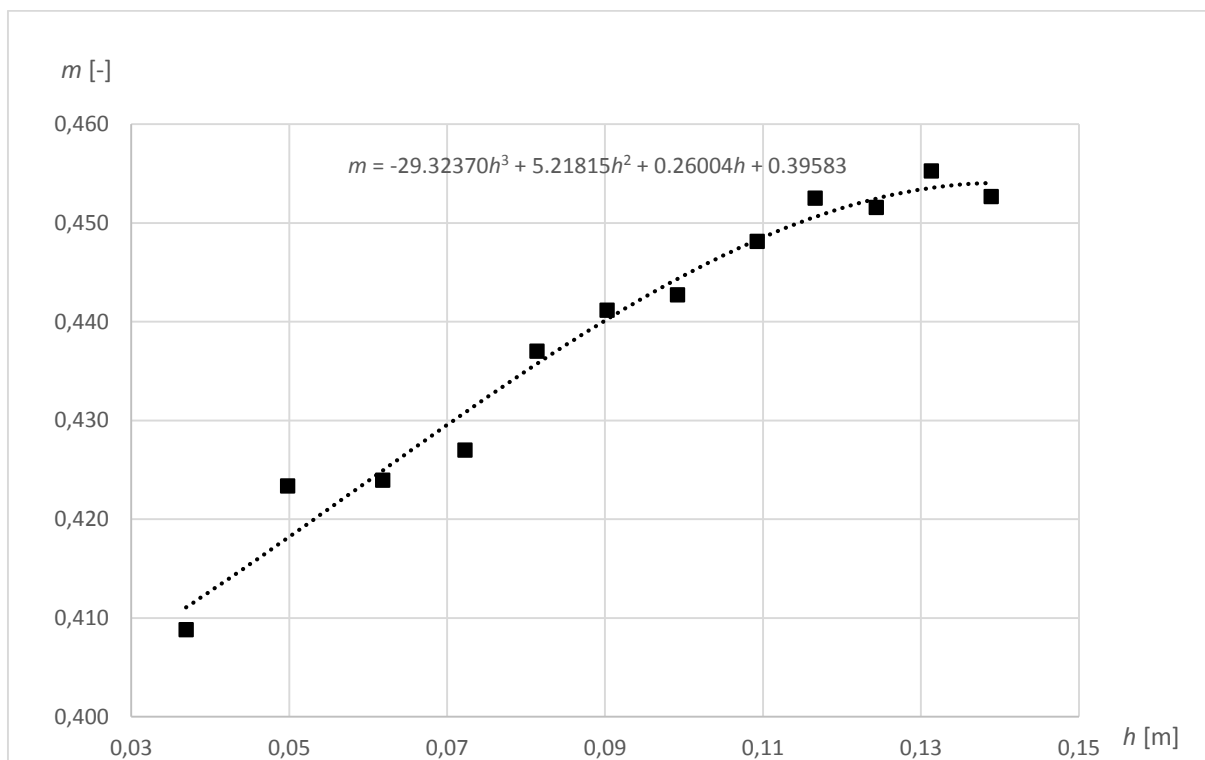
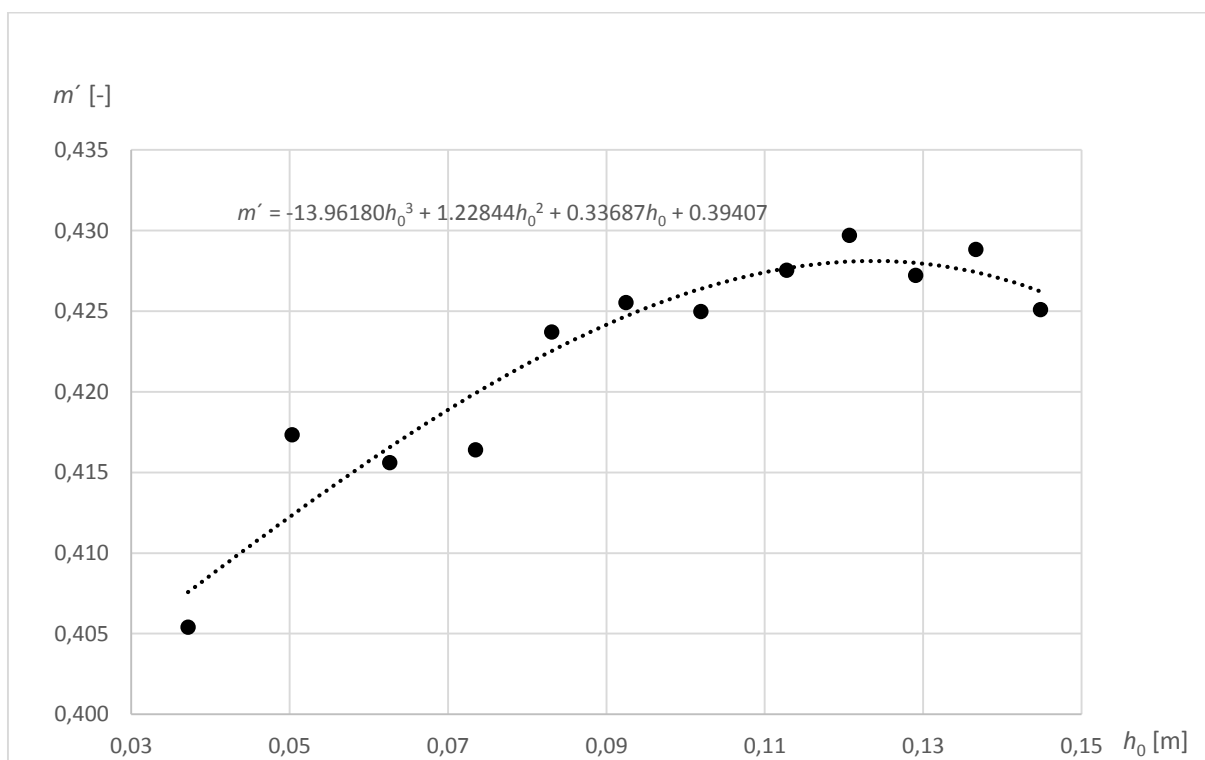
Tab. 6.10 Charakteristiky přelivu C za nedokonalého přepadu, délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm

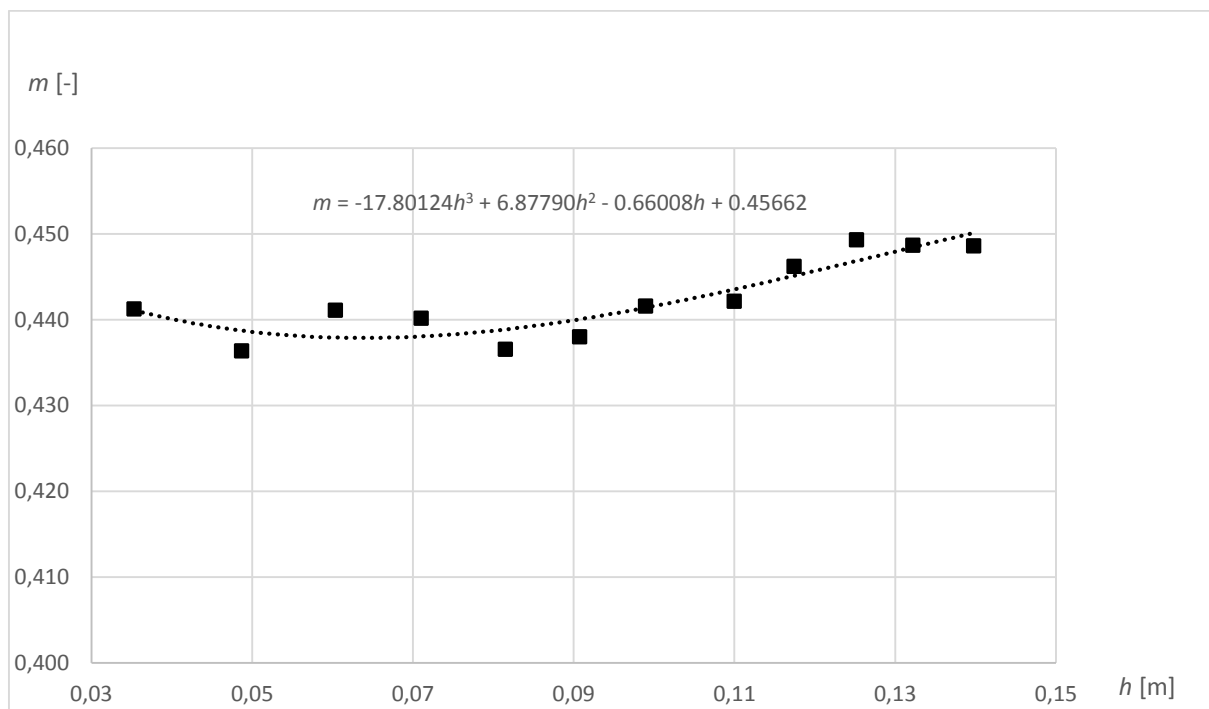
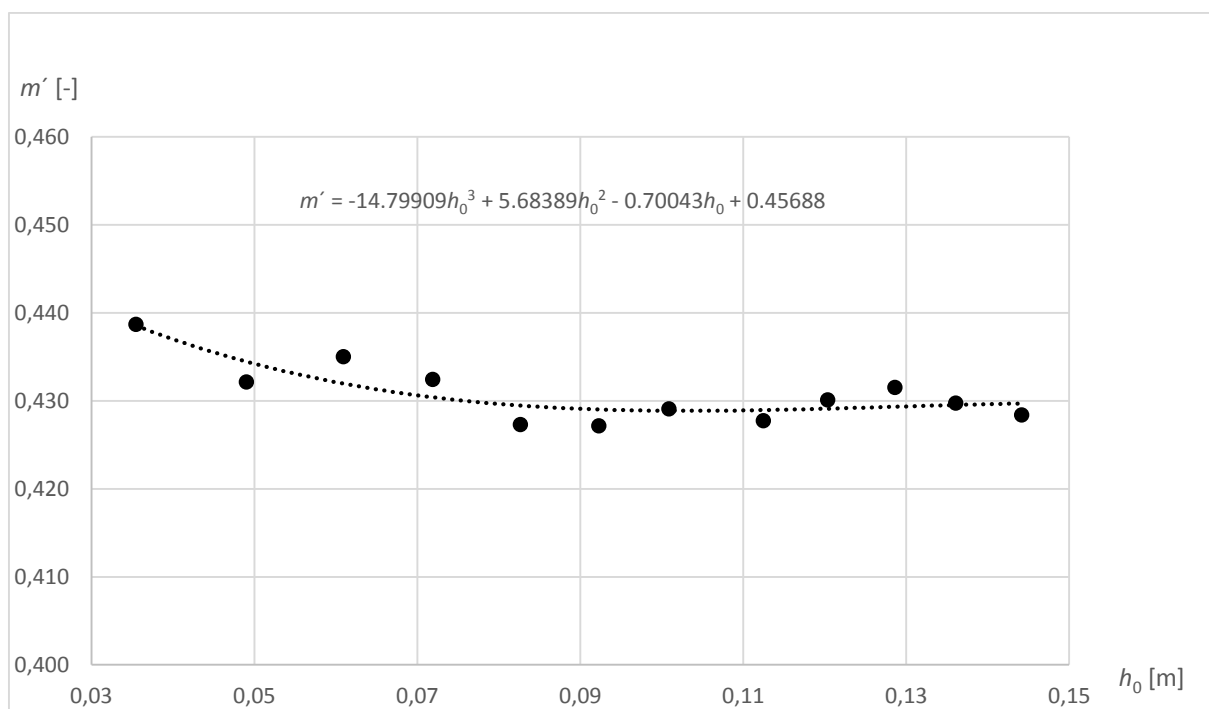
Průtok Q_i [l.s^{-1}]		Průtok Q [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]	h_{h1}	h_{h1}	h_{h2}	h_{h2}	h_{z1}	h_{z1}	h_{z2}	h_{z2}
nastavený	skutečný		[mm]	[m]	[mm]	[m]	[mm]	[m]	[mm]	[m]
20,00	19,71	0,01971	124,76	0,12476	74,76	0,07476	60	0,060	10	0,010
			130,66	0,13066	80,66	0,08066	81	0,081	31	0,031
			134,92	0,13492	84,92	0,08492	94	0,094	44	0,044
			156,15	0,15615	106,15	0,10615	136	0,136	86	0,086
			181,24	0,18124	131,24	0,13124	167	0,167	117	0,117
23,00	22,70	0,02270	133,07	0,13307	83,07	0,08307	58	0,058	8	0,008
			135,96	0,13596	85,96	0,08596	74	0,074	24	0,024
			146,92	0,14692	96,92	0,09692	108	0,108	58	0,058
			163,88	0,16388	113,88	0,11388	138	0,138	88	0,088
			190,04	0,19004	140,04	0,14004	176	0,176	126	0,126
27,00	26,83	0,02683	142,76	0,14276	92,76	0,09276	56	0,056	6	0,006
			149,16	0,14916	99,16	0,09916	87	0,087	37	0,037
			153,25	0,15325	103,25	0,10325	99	0,099	49	0,049
			170,04	0,17004	120,04	0,12004	139	0,139	89	0,089
			198,68	0,19868	148,68	0,14868	184	0,184	134	0,134
30,00	29,75	0,02975	151,72	0,15172	101,72	0,10172	56	0,056	6	0,006
			157,06	0,15706	107,06	0,10706	93	0,093	43	0,043
			162,27	0,16227	112,27	0,11227	111	0,111	61	0,061
			175,55	0,17555	125,55	0,12555	138	0,138	88	0,088
			184,32	0,18432	134,32	0,13432	153	0,153	103	0,103
33,00	32,74	0,03274	159,33	0,15933	109,33	0,10933	72	0,072	22	0,022
			166,47	0,16647	116,47	0,11647	100	0,100	50	0,050
			173,60	0,17360	123,60	0,12360	124	0,124	74	0,074
			180,18	0,18018	130,18	0,13018	138	0,138	88	0,088
			203,41	0,20341	153,41	0,15341	192	0,192	142	0,142
36,00	35,75	0,03575	165,91	0,16591	115,91	0,11591	64	0,064	14	0,014
			171,26	0,17126	121,26	0,12126	101	0,101	51	0,051
			185,35	0,18535	135,35	0,13535	137	0,137	87	0,087
			189,21	0,18921	139,21	0,13921	147	0,147	97	0,097
			195,57	0,19557	145,57	0,14557	155	0,155	105	0,105

Tab. 6.11 Charakteristiky přelivu D za nedokonalého přepadu, délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm

Průtok Q_i [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]		Průtok Q [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]	h_{h1} [mm]	h_{h1} [m]	h_{h2} [mm]	h_{h2} [m]	h_{z1} [mm]	h_{z1} [m]	h_{z2} [mm]	h_{z2} [m]
nastavený	skutečný									
20,00	19,73	0,01973	128,67	0,12867	78,67	0,07867	54	0,054	4	0,004
			135,51	0,13551	85,51	0,08551	86	0,086	36	0,036
			138,30	0,13830	88,30	0,08830	95	0,095	45	0,045
			157,74	0,15774	107,74	0,10774	136	0,136	86	0,086
			180,92	0,18092	130,92	0,13092	168	0,168	118	0,118
23,00	22,75	0,02275	136,62	0,13662	86,62	0,08662	57	0,057	7	0,007
			140,47	0,14047	90,47	0,09047	75	0,075	25	0,025
			147,15	0,14715	97,15	0,09715	100	0,100	50	0,050
			171,19	0,17119	121,19	0,12119	148	0,148	98	0,098
			185,95	0,18595	135,95	0,13595	171	0,171	121	0,121
27,00	26,68	0,02668	149,59	0,14959	99,59	0,09959	72	0,072	22	0,022
			152,25	0,15225	102,25	0,10225	85	0,085	35	0,035
			160,14	0,16014	110,14	0,11014	113	0,113	63	0,063
			178,70	0,17870	128,70	0,12870	151	0,151	101	0,101
			184,71	0,18471	134,71	0,13471	160	0,160	110	0,110
30,00	29,70	0,02970	155,18	0,15518	105,18	0,10518	61	0,061	11	0,011
			164,94	0,16494	114,94	0,11494	102	0,102	52	0,052
			167,89	0,16789	117,89	0,11789	112	0,112	62	0,062
			177,13	0,17713	127,13	0,12713	137	0,137	87	0,087
			198,53	0,19853	148,53	0,14853	172	0,172	122	0,122
33,00	32,73	0,03273	162,62	0,16262	112,62	0,11262	63	0,063	13	0,013
			168,53	0,16853	118,53	0,11853	98	0,098	48	0,048
			177,37	0,17737	127,37	0,12737	126	0,126	76	0,076
			184,45	0,18445	134,45	0,13445	138	0,138	88	0,088
			196,61	0,19661	146,61	0,14661	164	0,164	114	0,114
36,00	35,69	0,03569	169,82	0,16982	119,82	0,11982	65	0,065	15	0,015
			172,83	0,17283	122,83	0,12283	86	0,086	36	0,036
			180,59	0,18059	130,59	0,13059	120	0,120	70	0,070
			187,14	0,18714	137,14	0,13714	133	0,133	83	0,083
			190,25	0,19025	140,25	0,14025	141	0,141	91	0,091

**Obr. 6.1 Vyznačení identifikace k symbolům**

Graf 6.1 Závislost m na h pro etalon s nižší úrovní přelivné hranyGraf 6.2 Závislost m' na h_0 pro etalon s nižší úrovní přelivné hrany

Graf 6.3 Závislost m na h pro etalon s vyšší úrovní přelivné hranyGraf 6.4 Závislost m' na h_0 pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany

6.1.2 Vyjádření opravného součinitele K a K'

Po definování náhradních funkcí (po proložení grafů 6.1 a 6.2 náhradními funkcemi pro etalon s nižší úrovní přelivné hrany (6.3) a (6.4) a po proložení grafů 6.3 a 6.4 náhradními funkcemi pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany (6.5) a (6.6) bylo těchto závislostí využito při stanovení průtoků $Q_{1,vyp}$ a $Q_{2,vyp}$ přes jednotlivé dílčí úrovně přelivů varianty A až D, a to jak při zanedbání vlivu přítokové rychlosti (6.7), tak i se započítáním tohoto vlivu (6.8):

$$m_{et,1} = -29,32370h^3 + 5,21815h^2 + 0,26004h + 0,39583, \quad (6.3)$$

$$m'_{et,1} = -13,96180h_0^3 + 1,22844h_0^2 + 0,33687h_0 + 0,39407, \quad (6.4)$$

$$m_{et,2} = -17,80124h^3 + 6,87790h^2 - 0,66008h + 0,45662, \quad (6.5)$$

$$m'_{et,2} = -14,79909h_0^3 + 5,68389h_0^2 - 0,70043h_0 + 0,45688, \quad (6.6)$$

$$Q_{i,vyp} = m_{et,i} \cdot b_i \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{3}{2}}, \quad (6.7)$$

$$Q'_{i,vyp} = m'_{et,i} \cdot b_i \cdot \sqrt{2g} \cdot h_0^{\frac{3}{2}}, \quad (6.8)$$

kde $m_{et,1}$ je přepadový součinitel pro etalon s nižší úrovní přelivné hrany při zanedbání vlivu přítokové rychlosti, $m'_{et,1}$ vyjadřuje přepadový součinitel etalonu s nižší úrovní přelivné hrany při uvažování vlivu přítokové rychlosti. Analogicky pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany platí, že $m_{et,2}$ je přepadový součinitel při zanedbání vlivu přítokové rychlosti a $m'_{et,2}$ značí přepadový součinitel se započtením vlivu přítokové rychlosti. Přepadová výška h a energetická přepadová výška h_0 jsou uvažovány v metrech. $Q_{i,vyp}$ je pak vypočtený průtok dílčími částmi šířky b_i při zanedbání vlivu přítokové rychlosti a $Q'_{i,vyp}$ průtok dílčími částmi šířky b_i při uvažování vlivu přítokové rychlosti.

Poté byl proveden součet těchto vypočtených průtoků přes jednotlivé dílčí úrovně při zanedbání vlivu přítokové rychlosti (6.9) a při uvažování vlivu přítokové rychlosti (6.10).

$$\sum Q_{i,vyp} = Q_{1,vyp} + Q_{2,vyp} \quad (6.9)$$

$$\sum Q'_{i,vyp} = Q'_{1,vyp} + Q'_{2,vyp} \quad (6.10)$$

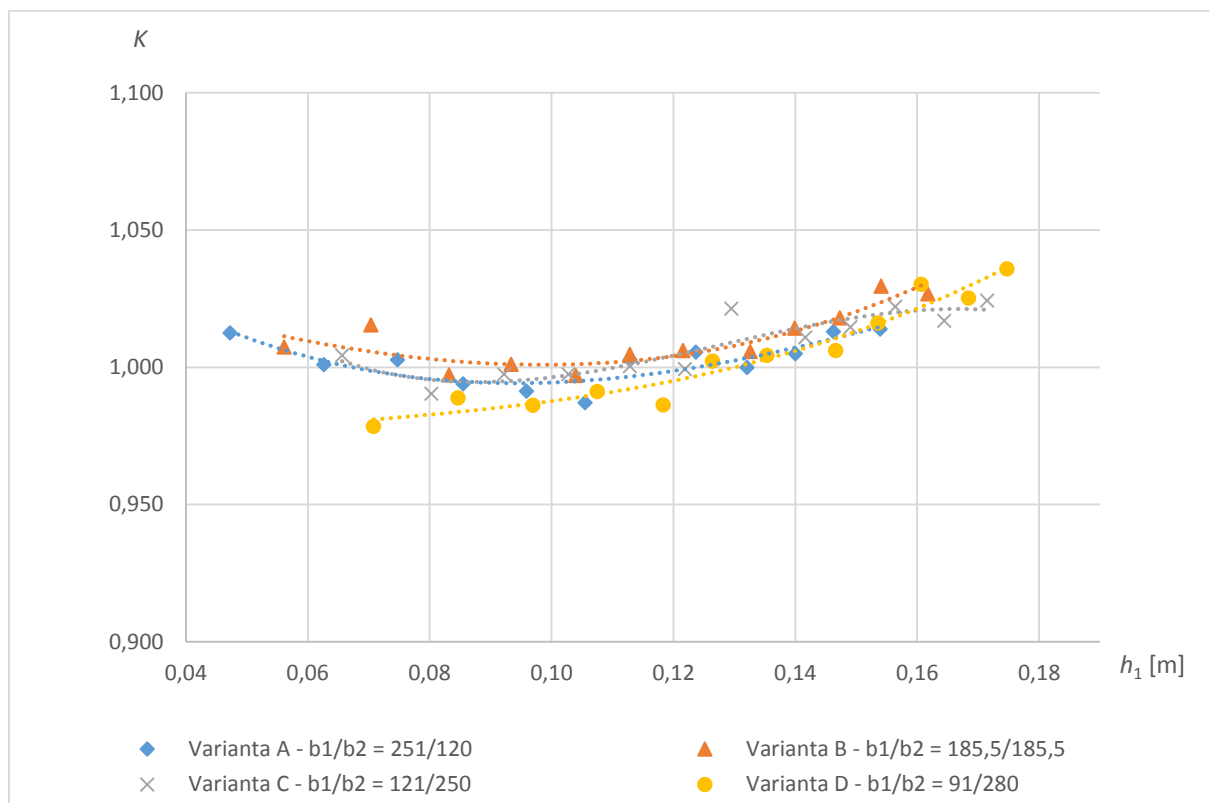
Závislost opravného součinitele K je pak dána vztahem (6.11) při zanedbání vlivu přítokové rychlosti a vztahem (6.12) při uvažování vlivu přítokové rychlosti. Hodnoty součinitelů jsou zpracovány v tabulkách 6.12 a 6.13 a vyneseny v grafech 6.5 a 6.6.

$$K = \frac{Q_{skut}}{\sum Q_{i,vyp}} \quad (6.11)$$

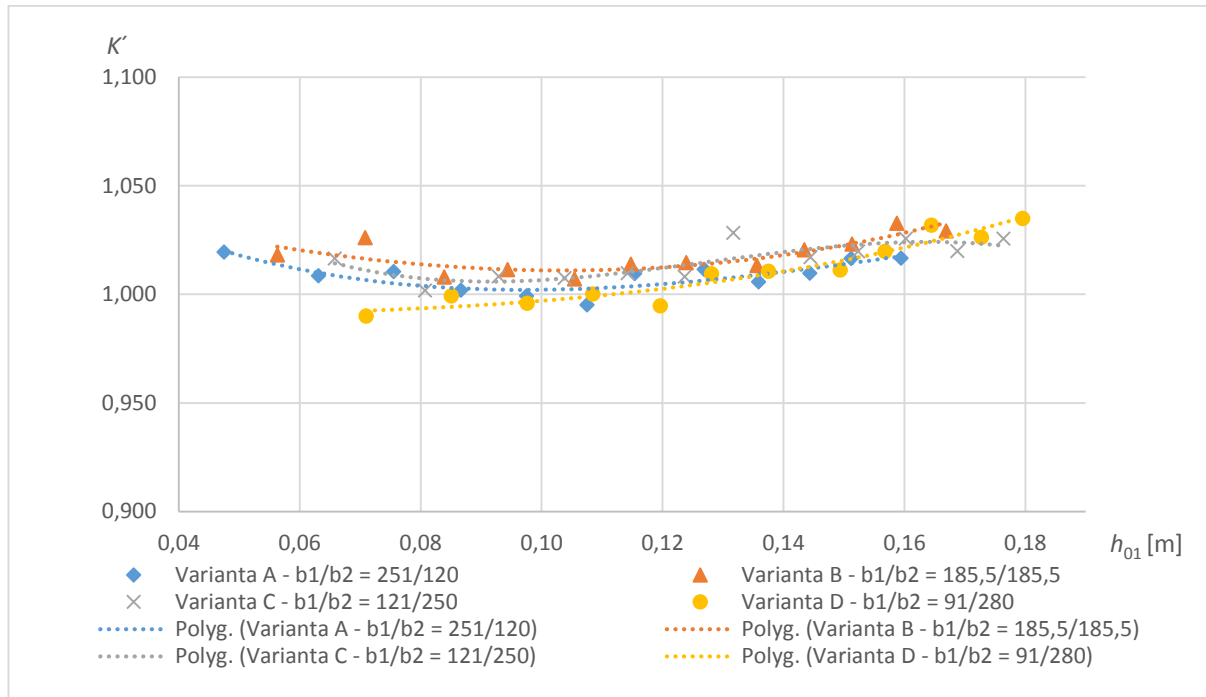
$$K' = \frac{Q_{skut}}{\sum Q'_{i,vyp}} \quad (6.12)$$

Tab. 6.12 Přehled hodnot součinitele K v závislosti na přepadové výšce h_1 přes jednotlivé varianty dvouúrovňových přelivů

Varianta A		Varianta B		Varianta C		Varianta D	
h_1 [m]	K	h_1 [m]	K	h_1 [m]	K	h_1 [m]	K
0.04726	1.013	0.05612	1.007	0.06564	1.004	0.07081	0.978
0.06263	1.001	0.07039	1.016	0.08032	0.990	0.08467	0.989
0.07475	1.003	0.08321	0.997	0.09222	0.998	0.09694	0.986
0.08551	0.994	0.09336	1.001	0.10280	0.997	0.10750	0.991
0.09592	0.991	0.10401	0.997	0.11285	1.000	0.11830	0.986
0.10549	0.987	0.11287	1.005	0.12190	0.999	0.12640	1.002
0.11289	1.003	0.12158	1.006	0.12951	1.021	0.13536	1.004
0.12368	1.006	0.13264	1.006	0.14163	1.011	0.14662	1.006
0.13212	1.000	0.13994	1.014	0.14908	1.015	0.15358	1.016
0.14000	1.005	0.14732	1.018	0.15641	1.022	0.16068	1.030
0.14629	1.013	0.15411	1.030	0.16445	1.017	0.16844	1.025
0.15394	1.014	0.16174	1.027	0.17146	1.024	0.17473	1.036

Graf 6.5 Závislost součinitele K na přepadové výšce h_1 pro jednotlivé variantyTab. 6.13 Přehled hodnot součinitele K' v závislosti na energetické přepadové výšce h_{01} přes jednotlivé varianty dvouúrovňových přelivů

Varianta A		Varianta B		Varianta C		Varianta D	
h_{01} [m]	K'	h_{01} [m]	K'	h_{01} [m]	K'	h_{01} [m]	K'
0.04746	1.020	0.05629	1.018	0.06580	1.017	0.07097	0.990
0.06307	1.009	0.07079	1.026	0.08069	1.002	0.08503	0.999
0.07551	1.011	0.08391	1.008	0.09287	1.008	0.09757	0.996
0.08662	1.002	0.09439	1.011	0.10377	1.008	0.10844	1.000
0.09747	0.999	0.10544	1.007	0.11419	1.010	0.11961	0.995
0.10749	0.995	0.11473	1.014	0.12362	1.008	0.12810	1.010
0.11538	1.010	0.12390	1.015	0.13169	1.028	0.13749	1.011
0.12686	1.012	0.13561	1.013	0.14444	1.017	0.14937	1.011
0.13584	1.006	0.14343	1.021	0.15236	1.020	0.15681	1.020
0.14434	1.010	0.15134	1.023	0.16022	1.026	0.16447	1.032
0.15119	1.017	0.15872	1.033	0.16877	1.020	0.17273	1.026
0.15945	1.017	0.16691	1.029	0.17636	1.026	0.17957	1.035



Graf 6.6 Závislost součinitele K' na přepadové výšce h_{01} pro jednotlivé varianty

Proložením grafu 6.5 byly získány rovnice náhradních funkcí pro výpočet součinitele K bez uvažování vlivu přítokové rychlosti. Rovnice (6.13) pro variantu A, rovnice (6.14) pro variantu B, rovnice (6.15) pro variantu C a rovnice (6.16) pro variantu D. Proložením grafu 6.6 pak byly získány rovnice náhradních funkcí pro výpočet součinitele K' s uvažováním vlivu přítokové rychlosti. Rovnice (6.17) pro variantu A, rovnice (6.18) pro variantu B, rovnice (6.19) pro variantu C a rovnice (6.20) pro variantu D. Hodnoty přepadové výšky přes nižší úroveň přelivné hrany h_1 a energetické přepadové výšky přes nižší úroveň přelivné hrany h_{01} jsou uvažovány v metrech.

$$K = -26,62396 \cdot h_1^3 + 14,86520 \cdot h_1^2 - 2,09021 \cdot h_1 + 1,08146 \quad (6.13)$$

$$K = 16,53757 \cdot h_1^3 + 1,56241 \cdot h_1^2 - 0,78950 \cdot h_1 + 1,04774 \quad (6.14)$$

$$K = -108,53997 \cdot h_1^3 + 41,47513 \cdot h_1^2 - 4,77700 \cdot h_1 + 1,16782 \quad (6.15)$$

$$K = 22,44276 \cdot h_1^3 - 3,70109 \cdot h_1^2 + 0,36620 \cdot h_1 + 0,96564 \quad (6.16)$$

$$K' = -28,76330 \cdot h_{01}^3 + 14,17291 \cdot h_{01}^2 - 1,94032 \cdot h_{01} + 1,08319 \quad (6.17)$$

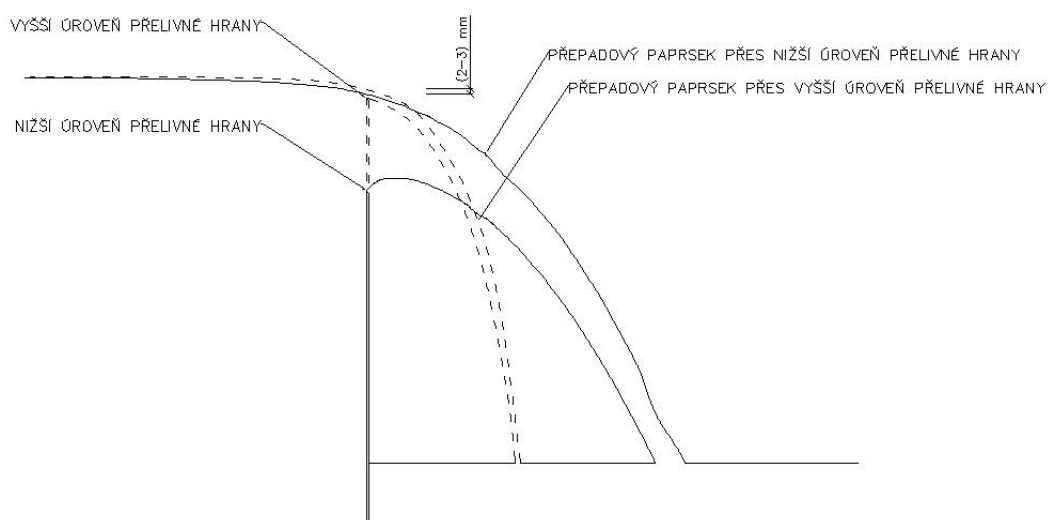
$$K' = 5,41897 \cdot h_{01}^3 + 3,46085 \cdot h_{01}^2 - 0,89210 \cdot h_{01} + 1,06030 \quad (6.18)$$

$$K' = -95,88369 \cdot h_{01}^3 + 36,73933 \cdot h_{01}^2 - 4,31400 \cdot h_{01} + 1,16648 \quad (6.19)$$

$$K' = 9,23565 \cdot h_{01}^3 - 0,22551 \cdot h_{01}^2 - 0,00988 \cdot h_{01} + 0,99107 \quad (6.20)$$

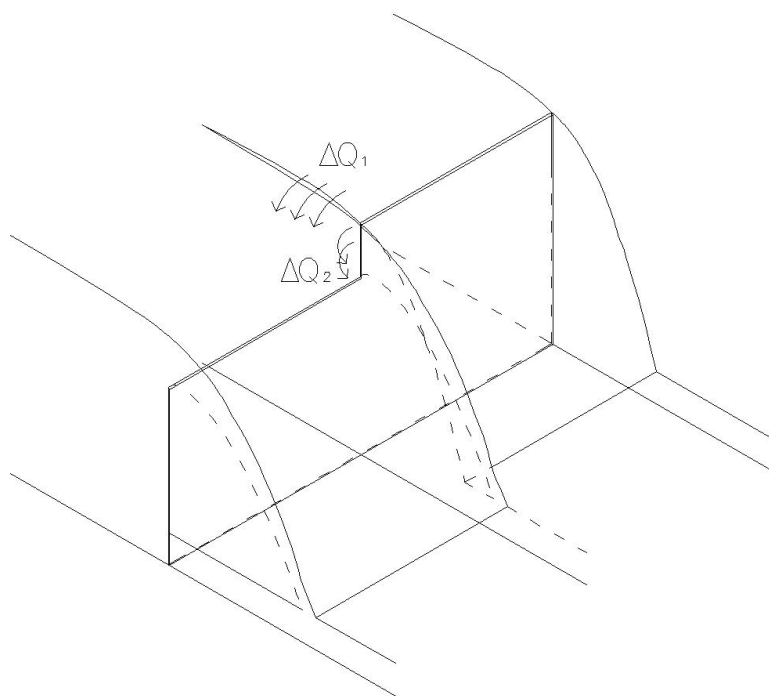
6.1.3 Vliv deformace proudu v prostoru navázání různých úrovní přelivů na jeho kapacitu

Vliv na velikost dílčích průtoků má také nárůst přitékajícího průtoku ΔQ_1 od zvýšené sousední hladiny do prostoru přelivu s nižší úrovní přelivné hrany a úbytek průtoku ΔQ_2 od vlivu kontrakce proudu (obrázek 6.2).



Obr. 6.2 Schéma s vyznačením zvýšení sousední hladiny, přepadové paprsky jsou vykresleny dle [8]

Pro názornost následuje 3D schématický náčrt s naznačením nárůstu průtoku (obrázek 6.3):



Obr. 6.3 3D schématický náčrt s vyznačením zvýšení sousední hladiny

Z kvantitativního rozboru výsledků měření vyplývá, že lze uvedený vliv potvrdit v případě zkoušených podmínek hodnotou nárůstu kapacity dvouúrovňového přelivu do 2 %. Tento nárůst kapacity se projevil poněkud překvapivě, očekáván byl spíše opačný trend.

6.2 NEDOKONALÝ PŘEPAD

Zpracování nedokonalého přepadu proběhlo na základě dat naměřených při dokonalém přepadu. Výpočet součinitele zatopení $\sigma_{z,dvouetážový}$ probíhal při zanedbání přítokové rychlosti podle rovnice (6.21). Pro případ s uvažováním přítokové rychlosti, tedy pro h_0 a K' nebude $\sigma_{z,dvouetážový}$ vyjádřen.

$$\sigma_{z,dvouetážový} = \frac{Q_{skut}}{(Q_{1,vyp} + Q_{2,vyp}) \cdot K} \quad , \quad (6.21)$$

kde Q_{skut} je skutečný průtok změřený na hydraulické trati, $Q_{i,vyp}$ je teoretický vypočtený průtok za dokonalého přepadu přes jednotlivé dílčí úrovně přelivu získaný z rovnice (6.22) a K je součinitel získaný z rovnic (6.13) až (6.16) pro jednotlivé varianty A až D.

$$Q_{i,vyp} = m_{et,i} \cdot b_i \cdot \sqrt{2g} \cdot h_i^{\frac{3}{2}} \quad , \quad (6.22)$$

kde $m_{et,1}$ je přepadový součinitel pro etalon s nižší úrovní přelivné hrany při zanedbání vlivu přítokové rychlosti z rovnice (6.3), $m_{et,2}$ je přepadový součinitel pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany při zanedbání vlivu přítokové rychlosti z rovnice (6.5).

V následujících tabulkách jsou obsaženy výsledky součinitelů zatopení pro jednotlivé varianty.

Tab. 6.14 Přehled výsledků součinitele zatopení σ_z , dvouetážový pro variantu A

Průtok Q [m ³ .s ⁻¹]	m_1	m_2	h_{z1}/h_1	$Q_{1,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	$Q_{2,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	$\Sigma Q_{i,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	K	$\sigma_{z,dvouetážový}$
0.01982	0.452	0.438	0.70661	0.02095	0.00434	0.02529	1.00	0.78
	0.453	0.438	0.77205	0.02242	0.00485	0.02726	1.00	0.73
	0.454	0.440	0.87732	0.02682	0.00646	0.03328	1.01	0.59
	0.449	0.444	0.93788	0.03324	0.00912	0.04236	1.02	0.46
	0.418	0.453	0.97959	0.04263	0.01448	0.05711	1.05	0.33
0.02282	0.451	0.438	0.46750	0.02062	0.00423	0.02484	1.00	0.92
	0.452	0.438	0.53347	0.02103	0.00437	0.02540	1.00	0.90
	0.454	0.440	0.81268	0.02606	0.00617	0.03223	1.01	0.70
	0.449	0.445	0.91889	0.03348	0.00922	0.04270	1.02	0.52
	0.441	0.448	0.93695	0.03742	0.01116	0.04858	1.03	0.46
0.0268	0.453	0.439	0.44805	0.02306	0.00507	0.02813	1.00	0.95
	0.454	0.439	0.61739	0.02502	0.00578	0.03081	1.00	0.87
	0.454	0.440	0.68863	0.02628	0.00625	0.03253	1.01	0.82
	0.449	0.445	0.86913	0.03365	0.00930	0.04295	1.02	0.61
	0.425	0.452	0.94484	0.04147	0.01361	0.05508	1.04	0.47
0.02971	0.454	0.439	0.43694	0.02525	0.00587	0.03112	1.01	0.95
	0.454	0.441	0.62913	0.02761	0.00676	0.03437	1.01	0.86
	0.453	0.441	0.76132	0.02883	0.00724	0.03607	1.01	0.81
	0.450	0.444	0.80764	0.03304	0.00902	0.04206	1.02	0.69
	0.437	0.449	0.90313	0.03863	0.01183	0.05045	1.03	0.57
0.03287	0.454	0.440	0.39729	0.02719	0.00660	0.03379	1.01	0.96
	0.454	0.441	0.50721	0.02830	0.00703	0.03533	1.01	0.92
	0.450	0.444	0.75500	0.03265	0.00885	0.04150	1.02	0.78
	0.442	0.447	0.86522	0.03681	0.01084	0.04765	1.03	0.67
	0.422	0.452	0.92999	0.04203	0.01402	0.05605	1.05	0.56
0.03581	0.453	0.442	0.47242	0.02976	0.00762	0.03738	1.01	0.95
	0.452	0.443	0.62655	0.03123	0.00823	0.03947	1.02	0.89
	0.445	0.446	0.78087	0.03547	0.01016	0.04563	1.03	0.76
	0.439	0.448	0.83407	0.03788	0.01141	0.04928	1.03	0.70
	0.406	0.455	0.92925	0.04407	0.01575	0.05982	1.05	0.57

Tab. 6.15 Přehled výsledků součinitele zatopení σ_z , dvouetážový pro variantu B

Průtok Q [m ³ .s ⁻¹]	m_1	m_2	h_{z1}/h_1	$Q_{1,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	$Q_{2,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	$\Sigma Q_{i,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	K	$\sigma_{z,dvouetážový}$
0.0197	0.451	0.438	0.52412	0.01521	0.00651	0.02172	1.00	0.90
	0.452	0.438	0.65855	0.01613	0.00717	0.02331	1.01	0.84
	0.453	0.439	0.68789	0.01743	0.00814	0.02557	1.01	0.76
	0.454	0.440	0.84592	0.01985	0.01000	0.02985	1.01	0.65
	0.450	0.444	0.89871	0.02414	0.01369	0.03783	1.03	0.51
0.02272	0.453	0.438	0.47162	0.01660	0.00752	0.02412	1.01	0.94
	0.454	0.439	0.60195	0.01772	0.00835	0.02607	1.01	0.86
	0.454	0.440	0.73597	0.01963	0.00983	0.02945	1.01	0.76
	0.448	0.445	0.89956	0.02538	0.01487	0.04025	1.04	0.54
	0.414	0.454	0.95290	0.03194	0.02313	0.05506	1.10	0.38
0.02677	0.454	0.439	0.46049	0.01873	0.00912	0.02784	1.01	0.95
	0.454	0.440	0.52930	0.01937	0.00962	0.02899	1.01	0.91
	0.454	0.441	0.68627	0.02105	0.01098	0.03202	1.02	0.82
	0.451	0.443	0.78762	0.02353	0.01313	0.03667	1.03	0.71
	0.441	0.448	0.88558	0.02757	0.01716	0.04472	1.05	0.57
0.0298	0.454	0.440	0.35878	0.01999	0.01012	0.03011	1.01	0.98
	0.454	0.441	0.53553	0.02073	0.01072	0.03144	1.02	0.93
	0.453	0.442	0.65011	0.02201	0.01179	0.03380	1.02	0.86
	0.449	0.445	0.76296	0.02467	0.01419	0.03886	1.03	0.74
	0.434	0.450	0.88414	0.02918	0.01905	0.04823	1.07	0.58
0.03281	0.453	0.442	0.45296	0.02182	0.01163	0.03344	1.02	0.96
	0.452	0.443	0.58456	0.02282	0.01249	0.03531	1.03	0.91
	0.449	0.444	0.70363	0.02461	0.01413	0.03874	1.03	0.82
	0.439	0.449	0.82703	0.02813	0.01779	0.04592	1.06	0.68
	0.408	0.454	0.90752	0.03239	0.02399	0.05639	1.10	0.53
0.03572	0.452	0.443	0.42736	0.02321	0.01284	0.03605	1.03	0.96
	0.451	0.443	0.51791	0.02363	0.01322	0.03686	1.03	0.94
	0.443	0.447	0.73528	0.02697	0.01650	0.04346	1.05	0.78
	0.435	0.449	0.79814	0.02886	0.01866	0.04752	1.06	0.71
	0.415	0.453	0.88091	0.03182	0.02292	0.05474	1.10	0.60

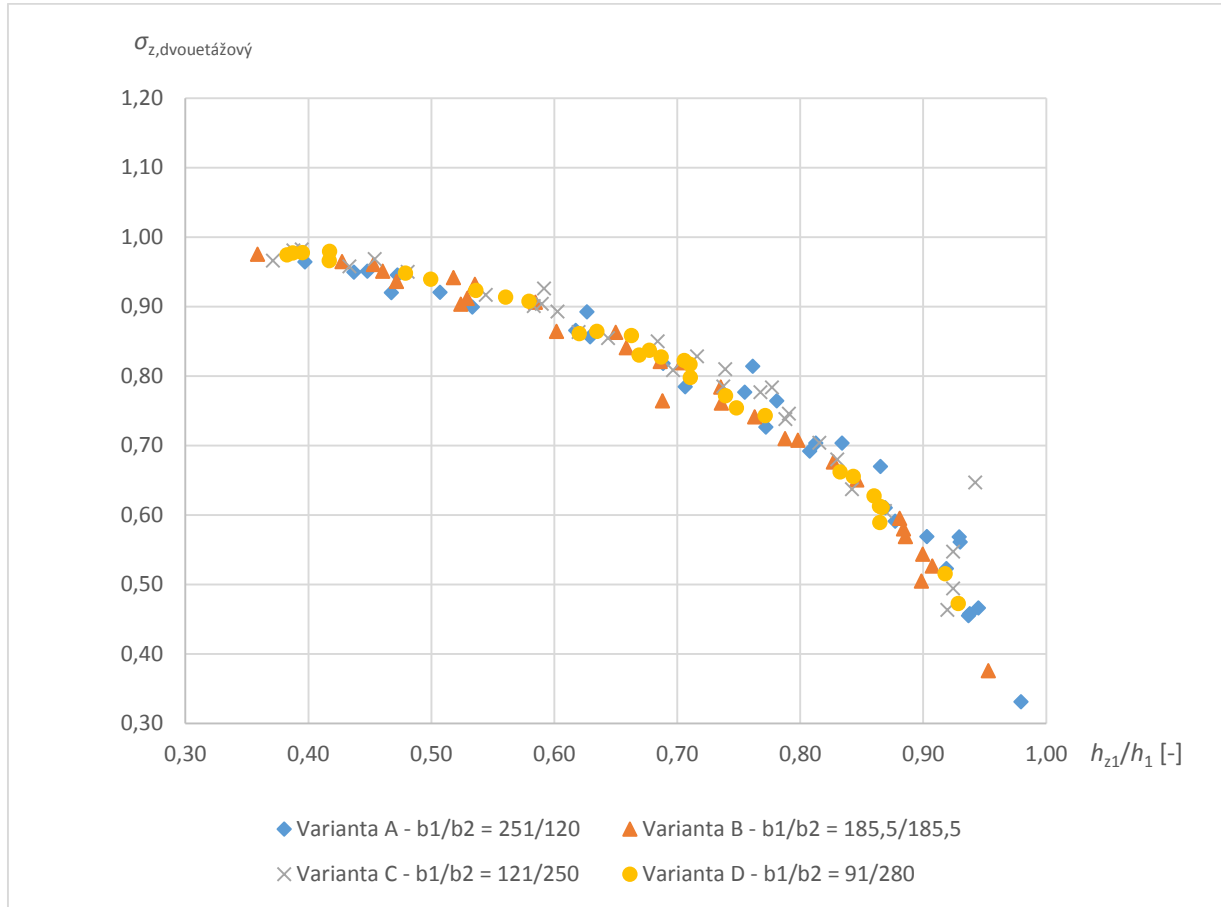
Tab. 6.16 Přehled výsledků součinitele zatopení σ_z , dvouetážový pro variantu C

Průtok Q [m ³ .s ⁻¹]	m_1	m_2	h_{z1}/h_1	$Q_{1,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	$Q_{2,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	$\Sigma Q_{i,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	K	$\sigma_{z,dvouetážový}$
0.01971	0.453	0.438	0.48091	0.01069	0.00992	0.02061	1.01	0.95
	0.453	0.439	0.61991	0.01148	0.01113	0.02261	1.01	0.86
	0.454	0.439	0.69671	0.01206	0.01204	0.02409	1.01	0.81
	0.452	0.443	0.86880	0.01495	0.01696	0.03191	1.02	0.61
	0.440	0.448	0.91961	0.01819	0.02360	0.04178	1.02	0.46
0.0227	0.454	0.439	0.43335	0.01181	0.01164	0.02345	1.01	0.96
	0.454	0.439	0.54429	0.01220	0.01226	0.02446	1.01	0.92
	0.454	0.441	0.73738	0.01369	0.01474	0.02843	1.02	0.79
	0.450	0.444	0.84206	0.01598	0.01891	0.03490	1.02	0.64
	0.432	0.450	0.92438	0.01920	0.02612	0.04532	1.01	0.49
0.02683	0.454	0.440	0.39460	0.01312	0.01378	0.02690	1.02	0.98
	0.453	0.441	0.58325	0.01400	0.01526	0.02926	1.02	0.90
	0.453	0.442	0.64384	0.01456	0.01624	0.03080	1.02	0.85
	0.447	0.446	0.81549	0.01679	0.02053	0.03732	1.02	0.70
	0.423	0.452	0.92442	0.02010	0.02870	0.04880	1.00	0.55
0.02975	0.453	0.442	0.37129	0.01435	0.01588	0.03022	1.02	0.97
	0.452	0.443	0.59000	0.01507	0.01718	0.03226	1.02	0.90
	0.450	0.444	0.68403	0.01577	0.01850	0.03427	1.02	0.85
	0.444	0.447	0.78801	0.01749	0.02202	0.03951	1.02	0.74
	0.437	0.449	0.83009	0.01855	0.02447	0.04302	1.02	0.68
0.03274	0.451	0.443	0.45399	0.01538	0.01775	0.03313	1.02	0.97
	0.448	0.445	0.60270	0.01633	0.01958	0.03591	1.02	0.89
	0.445	0.446	0.71622	0.01724	0.02148	0.03873	1.02	0.83
	0.441	0.448	0.76775	0.01806	0.02330	0.04136	1.02	0.78
	0.418	0.453	0.94227	0.02054	0.03014	0.05068	1.00	0.65
0.03575	0.449	0.445	0.38776	0.01625	0.01944	0.03569	1.02	0.98
	0.446	0.446	0.59168	0.01695	0.02085	0.03780	1.02	0.93
	0.437	0.449	0.73913	0.01867	0.02477	0.04344	1.02	0.81
	0.433	0.450	0.77693	0.01911	0.02588	0.04499	1.01	0.78
	0.427	0.451	0.79085	0.01979	0.02776	0.04755	1.01	0.75

Tab. 6.17 Přehled výsledků součinitele zatopení $\sigma_{z, \text{dvouetážový}}$ pro variantu D

Průtok Q [m ³ .s ⁻¹]	m_1	m_2	h_{z1}/h_1	$Q_{1,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	$Q_{2,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	$\Sigma Q_{i,vyp}$ [m ³ .s ⁻¹]	K	$\sigma_{z, \text{dvouetážový}}$
0.01973	0.453	0.439	0.41709	0.00843	0.01200	0.02043	1.00	0.97
	0.454	0.439	0.63464	0.00913	0.01362	0.02275	1.00	0.86
	0.454	0.440	0.68691	0.00941	0.01431	0.02372	1.00	0.83
	0.452	0.443	0.86005	0.01140	0.01943	0.03084	1.02	0.63
	0.440	0.448	0.92860	0.01365	0.02633	0.03998	1.04	0.47
0.02275	0.454	0.439	0.41721	0.00924	0.01390	0.02314	1.00	0.98
	0.454	0.440	0.53628	0.00964	0.01485	0.02449	1.01	0.92
	0.454	0.441	0.67731	0.01032	0.01657	0.02689	1.01	0.84
	0.446	0.446	0.86650	0.01274	0.02333	0.03607	1.03	0.61
	0.436	0.449	0.91779	0.01409	0.02793	0.04203	1.05	0.52
0.02668	0.453	0.442	0.47910	0.01057	0.01721	0.02778	1.01	0.95
	0.453	0.442	0.56049	0.01084	0.01792	0.02877	1.01	0.91
	0.451	0.444	0.70562	0.01165	0.02011	0.03176	1.02	0.82
	0.442	0.448	0.84313	0.01345	0.02563	0.03908	1.04	0.66
	0.437	0.449	0.86442	0.01399	0.02753	0.04152	1.05	0.61
0.0297	0.452	0.443	0.39524	0.01114	0.01872	0.02987	1.02	0.98
	0.449	0.445	0.62042	0.01213	0.02149	0.03361	1.03	0.86
	0.448	0.445	0.66909	0.01242	0.02235	0.03477	1.03	0.83
	0.443	0.447	0.77155	0.01330	0.02515	0.03845	1.04	0.74
	0.424	0.452	0.86469	0.01511	0.03209	0.04719	1.07	0.59
0.03273	0.450	0.444	0.38741	0.01190	0.02082	0.03271	1.02	0.98
	0.447	0.445	0.57951	0.01248	0.02254	0.03502	1.03	0.91
	0.442	0.447	0.71037	0.01332	0.02522	0.03854	1.04	0.82
	0.437	0.449	0.74817	0.01396	0.02745	0.04141	1.05	0.75
	0.426	0.452	0.83243	0.01496	0.03144	0.04640	1.07	0.66
0.03569	0.447	0.446	0.38277	0.01260	0.02292	0.03553	1.03	0.97
	0.445	0.446	0.49953	0.01290	0.02383	0.03672	1.03	0.94
	0.440	0.448	0.66266	0.01362	0.02622	0.03984	1.04	0.86
	0.435	0.450	0.71069	0.01420	0.02832	0.04251	1.05	0.80
	0.432	0.450	0.73937	0.01446	0.02933	0.04379	1.06	0.77

Z výše uvedených hodnot byl vypracován graf 6.7 znázorňující závislost $\sigma_{z, \text{dvouetážový}} = f(h_{z1}/h_1)$ jednotlivých variant. Proložením těchto závislostí náhradními funkcemi byly získány rovnice (6.23) pro variantu A, (6.24) pro variantu B, (6.25) pro variantu C a (6.26) pro variantu D.



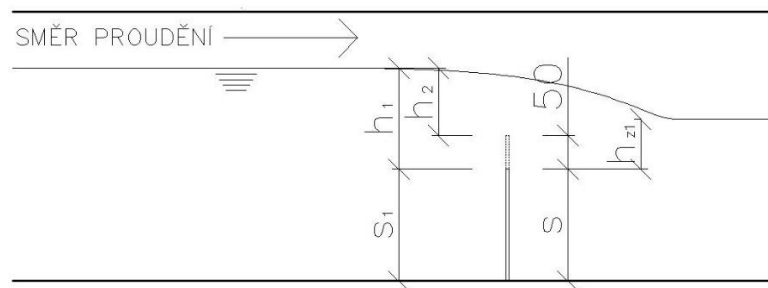
Graf 6.7 Závislost součinitele $\sigma_{z, \text{dvouetážový}}$ na poměru h_{z1}/h_1 pro jednotlivé varianty

$$\sigma_{z, \text{dvouetážový}} = -5,00052 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right)^3 + 8,48144 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right)^2 - 5,18927 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right) + 2,01481 \quad (6.23)$$

$$\sigma_{z, \text{dvouetážový}} = -3,08518 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right)^3 + 4,41523 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right)^2 - 2,51657 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right) + 1,46887 \quad (6.24)$$

$$\sigma_{z, \text{dvouetážový}} = -0,41186 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right)^3 - 0,59579 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right)^2 + 0,54909 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right) + 0,87334 \quad (6.25)$$

$$\sigma_{z, \text{dvouetážový}} = -2,21138 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right)^3 + 2,75445 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right)^2 - 1,50168 \left(\frac{h_{z1}}{h_1} \right) + 1,27653 \quad (6.26)$$



Obr. 6.4 Vyznačení identifikace k symbolům pro nedokonalý přepad

6.3 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

K dalšímu praktickému využití získaných přepadových a korekčních součinitelů jsou v této kapitole vyjádřeny bezrozměrně. Závislost $m_{\text{et}} = f(h/s)$ je pro přeliv s nižší úrovní přelivné hrany vyjádřena rovnicí (6.27), pro přeliv s vyšší úrovní přelivné hrany pak rovnicí (6.29). Pro případ s uvažováním přítokové rychlosti je závislost $m'_{\text{et}} = f(h_0/s)$ je pro přeliv s nižší úrovní přelivné hrany vyjádřena rovnicí (6.28), pro přeliv s vyšší úrovní přelivné hrany pak rovnicí (6.30).

$$m_{\text{et},1} = -0,13173 \left(\frac{h}{s}\right)^3 + 0,14206 \left(\frac{h}{s}\right)^2 + 0,04291 \left(\frac{h}{s}\right) + 0,39583, \quad (6.27)$$

$$m'_{\text{et},1} = -0,06272 \left(\frac{h_0}{s}\right)^3 + 0,03344 \left(\frac{h_0}{s}\right)^2 + 0,05558 \left(\frac{h_0}{s}\right) + 0,39407, \quad (6.28)$$

$$m_{\text{et},2} = -0,17446 \left(\frac{h}{s}\right)^3 + 0,31498 \left(\frac{h}{s}\right)^2 - 0,14126 \left(\frac{h}{s}\right) + 0,45662, \quad (6.29)$$

$$m'_{\text{et},2} = -0,14504 \left(\frac{h_0}{s}\right)^3 + 0,26030 \left(\frac{h_0}{s}\right)^2 - 0,14989 \left(\frac{h_0}{s}\right) + 0,45688, \quad (6.30)$$

kde $m_{\text{et},1}$... přepadový součinitel pro etalon s nižší úrovní přelivné hrany při zanedbání vlivu přítokové rychlosti,

$m'_{\text{et},1}$... přepadový součinitel pro etalon s nižší úrovní přelivné hrany při uvažování vlivu přítokové rychlosti,

$m_{\text{et},2}$... přepadový součinitel pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany při zanedbání vlivu přítokové rychlosti,

$m'_{\text{et},2}$... přepadový součinitel pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany při uvažování vlivu přítokové rychlosti,

h ... přepadová výška,

h_0 ... energetická přepadová výška,

s ... výška koruny přelivu nad dnem žlabu (dnem prostoru pod přelivem).

Podobně jako přepadový součinitel je vyjádřen bezrozměrně součinitel K a K' - rovnice (6.31) a (6.35) pro variantu A, (6.32) a (6.36) pro variantu B, (6.33) a (6.37) pro variantu C a (6.34) a (6.38) pro variantu D:

$$K = -0,00333 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right)^3 + 0,03716 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right)^2 - 0,10451 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right) + 1,08146 \quad (6.31)$$

$$K = 0,00207 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right)^3 + 0,00391 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right)^2 - 0,03948 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right) + 1,04774 \quad (6.32)$$

$$K = -0,01357 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right)^3 + 0,10369 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right)^2 - 0,23885 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right) + 1,16782 \quad (6.33)$$

$$K = 0,00281 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right)^3 - 0,00925 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right)^2 + 0,01831 \cdot \left(\frac{h_1}{\Delta h}\right) + 0,96564 \quad (6.34)$$

$$K' = -0,00360 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right)^3 + 0,03543 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right)^2 - 0,09702 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right) + 1,08319 \quad (6.35)$$

$$K' = 0,00068 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right)^3 + 0,00865 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right)^2 - 0,04461 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right) + 1,06030 \quad (6.36)$$

$$K' = -0,01199 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right)^3 + 0,09185 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right)^2 - 0,21570 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right) + 1,16648 \quad (6.37)$$

$$K' = 0,00115 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right)^3 - 0,00056 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right)^2 - 0,00049 \cdot \left(\frac{h_{01}}{\Delta h}\right) + 0,99107 \quad (6.38)$$

kde K ... opravný součinitel vlivu dvou úrovní přelivu bez uvažování přítokové rychlosti,

K' ... opravný součinitel vlivu dvou úrovní přelivu s uvažováním přítokové rychlosti,

h_1 ... přepadová výška přes nižší úroveň přelivné hrany,

h_{01} ... energetická přepadová výška přes nižší úroveň přelivné hrany,

Δh ... výškový rozdíl úrovní přelivných hran.

Součinitel zatopení je pak již bezrozměrně odvozen v kapitole 6.2, v tomto případě však pouze bez zohlednění vlivu přítokové rychlosti.

7 ZÁVĚR

V současné době zvýšeného výskytu povodňových událostí zesilují požadavky na zvyšování kapacit bezpečnostních objektů vodních děl. Jejich součástí jsou mnohdy pevné bezpečnostní přelivy. V rámci nového návrhu nebo rekonstrukce stávajícího přelivu lze mnohdy pro požadované řízení odtoku z retenčního prostoru využít hranu nebo korunu se dvěma různými výškovými úrovněmi. Toto řešení, do jisté omezené míry, nahrazuje regulační prvek. Použití dvouetážového přelivu má vedle menší manipulační schopnosti výhodu cenovou a provozně spolehlivostní.

U hran nebo korun relativně krátkých délek se na kapacitě přelivu výrazně projevuje prostorový vliv proudění v oblasti navázání dvou různých úrovní. O daném vlivu nejsou doposud k dispozici spolehlivé kvantifikující údaje.

Práce vyhodnotila na modelových situacích proudění v prostoru navázání dvou výškových úrovní ostrohranných přelivů. Vyhodnocení je provedeno pro rozsahy poměrových šířek 251/120, 185,5/185,5, 121/250, 91/280 a poměrných výšek přepadových paprsků $h/s \in (0,165;0,842)$ a $h_0/s \in (0,166;0,878)$ pro případ dokonalého i nedokonalého přepadu.

Vyjádřená hodnota korekčního součinitele prokazuje, že hodnota přepadového množství skutečná a vyjádřená součtem dílčích průtoků na příslušných dílčích délkách přelivu se liší v rozsahu $\pm 3,6 \%$. Pro konkrétní případy ve výše uvedeném rozsahu zkoušek jsou předloženy přesné hodnoty korekčních součinitelů.

V práci je rovněž vyhodnocen a předložen průběh součinitele zatopení σ_z , dvouetážový pro transformaci dokonalého přepadu na případ ovlivněného (nedokonalého) proudění přes dvouetážový přeliv.

Zjištění a potvrzení relativně malého vlivu prostorovosti proudění v oblasti navázání různých výškových úrovní přelivu je vhodné pro použití superpozičního principu stanovení přepadového množství klasickým 2D přístupem. Byť se jedná o kvantitativně malý vliv nárůstu kapacity, očekávatelný byl spíše opak se snížením. Zdůvodnění je, s jistou mírou zjednodušení, předloženo v kapitole 6.1.3.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČÁBELKA, J.; GABRIEL P. *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1987.
- [2] JANDORA, J.; ŠULC J. *Hydraulika: modul 01*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007.
- [3] MÄSIAR, E.; KAMENSKÝ J. *Hydraulika pre stavebných inžinierov*. Vyd. 1. Bratislava: Alfa, 1986.
- [4] KOLÁŘ, V.; PATOČKA, C.; BÉM, J. *Hydraulika*. Praha: SNTL, 1983.
- [5] BOOR, B.; KUNŠTÁTSKÝ J.; PATOČKA C. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1968.
- [6] ŠULC, J.; ŽOUŽELA, M. *Modelový výzkum nového objektu pro převádění extrémních povodní VD Šance (bezpečnostní přeliv, skluz, vývar)*. Výzkumná zpráva, LVV-FAST-VUT. Brno, 2007.
- [7] ČSN ISO 1438-1 25 9331 *Měření průtoku vody v otevřených korytech pomocí přelivů a Venturiho žlabů. Část 1: Tenkostěnné přelivy*.
- [8] GÜNTHER, PETER. *Überfälle und Wehre: Grundlagen und Berechnungsbeispiele*. Wiesbaden: Vieweg, 2005.

Zdroje fotografií

- [9] Den otevřených dveří na přehradách Koryčany, Karolinka a Hubenov přilákal téměř tisícovku návštěvníků. *Povodí Moravy, státní podnik* [online]. 2014 [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/media/tiskove-zpravy/den-otevrenych-dveri-na-prehradach-korycany-karolinka-a-hubenov-prilakal-temer-tisicovku-navstevniku>
- [10] *Rajče* [online]. 2014 [cit. 2016-01-19]. Dostupné z: <http://rajce.idnes.cz>

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1	Přehledné zobrazení rozměrů jednotlivých variant přelivu	19
Tab. 6.1	Charakteristiky etalonu s vyšší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu	38
Tab. 6.2	Charakteristiky etalonu s nižší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu	38
Tab. 6.3	Charakteristiky přelivu A za dokonalého přepadu, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm	39
Tab. 6.4	Charakteristiky přelivu B za dokonalého přepadu, délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm	39
Tab. 6.5	Charakteristiky přelivu C za dokonalého přepadu, délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm	40
Tab. 6.6	Charakteristiky přelivu D za dokonalého přepadu, délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm	40
Tab. 6.7	Charakteristiky etalonu s vyšší úrovní přelivné hrany za nedokonalého přepadu.....	41
Tab. 6.8	Charakteristiky přelivu A za nedokonalého přepadu, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm	42
Tab. 6.9	Charakteristiky přelivu B za nedokonalého přepadu, délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm	43
Tab. 6.10	Charakteristiky přelivu C za nedokonalého přepadu, délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm	44
Tab. 6.11	Charakteristiky přelivu D za nedokonalého přepadu, délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm	45
Tab. 6.12	Přehled hodnot součinitele K v závislosti na přepadové výšce h_1 přes jednotlivé varianty dvouúrovňových přelivů	49
Tab. 6.13	Přehled hodnot součinitele K' v závislosti na energetické přepadové výšce h_{01} přes jednotlivé varianty dvouúrovňových přelivů	50
Tab. 6.14	Přehled výsledků součinitele zatopení σ_z , dvouetážový pro variantu A	54
Tab. 6.15	Přehled výsledků součinitele zatopení σ_z , dvouetážový pro variantu B.....	55
Tab. 6.16	Přehled výsledků součinitele zatopení σ_z , dvouetážový pro variantu C.....	56

Tab. 6.17	Přehled výsledků součinitele zatopení σ_z , dvouetážový pro variantu D	57
-----------	-------------------------------------------------------------------------------------	----

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1	Typy přelivů.....	4
Obr. 2.2	Příklady ostrohranných přelivů.....	5
Obr. 2.3	Základní typy přelivů.....	6
Obr. 2.4	Přelivy dle půdorysného uspořádání.....	6
Obr. 2.5	VD Karolinka, odběrná věž kruhového půdorysu a šachtový přeliv.....	7
Obr. 2.6	VD Olešná, přeliv typu kachní zobák.....	8
Obr. 2.7	Schéma rozdělení průtoku na dvouúrovňovém přelivu.....	10
Obr. 2.8	Rozhraní úrovní přelivu, kde dochází ke kontrakci projevující se zejména u krátkých přelivů.....	11
Obr. 4.1	Fotografie vyjmutých plechů použitých ke kapacitním zkouškám přelivů.....	18
Obr. 4.2	Porovnávací fotografie vyjmutých plechových vestaveb použitých pro zkoušky přelivů.....	19
Obr. 4.3	Schéma rozměrů přelivů.....	19
Obr. 4.4	Rámeček s umístěným etalonem.....	20
Obr. 4.5	Fotografie měrné trati.....	21
Obr. 4.6	Fotografie měrné trati.....	21
Obr. 4.7	Fotografie ovládací jednotky.....	22
Obr. 4.8	Fotografie vyhodnocovací jednotky.....	22
Obr. 4.9	Fotografie digitálního hrotového měřidla sloužícího k odečítání hodnot přepadové výšky h	23
Obr. 4.10	Schematický půdorys měrného žlabu.....	23
Obr. 4.11	Schematický řez A-A' měrným žlabem, zobrazení způsobu měření přepadové výšky h	24
Obr. 4.12	Schematický řez B-B' měrným žlabem, zobrazení jednotlivých tvarů.....	24
Obr. 5.1	Etalon s vyšší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu, $s = 214$ mm, $Q = 5$ l.s ⁻¹	26

Obr. 5.2	Etalon s vyšší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu, $s = 214$ mm, $Q = 36 \text{ l.s}^{-1}$	26
Obr. 5.3	Etalon s vyšší úrovní přelivné hrany za nedokonalého přepadu, $s = 214$ mm, $Q = 30 \text{ l.s}^{-1}$	27
Obr. 5.4	Etalon s nižší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu, $s = 165$ mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$	27
Obr. 5.5	Etalon s nižší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu – boční pohled, $s = 165$ mm, $Q = 30 \text{ l.s}^{-1}$	28
Obr. 5.6	Etalon s nižší úrovní přelivné hrany za dokonalého přepadu - čelní pohled, $s = 165$ mm, $Q = 30 \text{ l.s}^{-1}$	28
Obr. 5.7	Varianta A za dokonalého přepadu – pohled shora, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$	29
Obr. 5.8	Varianta A za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$	29
Obr. 5.9	Varianta A za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$	30
Obr. 5.10	Varianta A za nedokonalého přepadu – délka nižší úrovně 251 mm, délka vyšší úrovně 120 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$	30
Obr. 5.11	Varianta B za dokonalého přepadu – pohled shora, délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$	31
Obr. 5.12	Varianta B za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$	31
Obr. 5.13	Varianta B za dokonalého přepadu – délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$	32
Obr. 5.14	Varianta B za nedokonalého přepadu – délka nižší úrovně 185,5 mm, délka vyšší úrovně 185,5 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$	32

Obr. 5.15	Varianta C za dokonalého přepadu – pohled shora, délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$	33
Obr. 5.16	Varianta C za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$	33
Obr. 5.17	Varianta C za dokonalého přepadu – délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$	34
Obr. 5.18	Varianta C za nedokonalého přepadu – délka nižší úrovně 121 mm, délka vyšší úrovně 250 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$	34
Obr. 5.19	Varianta D za dokonalého přepadu – pohled shora, délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$	35
Obr. 5.20	Varianta D za dokonalého přepadu – čelní pohled, délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm, $Q = 8 \text{ l.s}^{-1}$	35
Obr. 5.21	Varianta D za dokonalého přepadu – délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$	36
Obr. 5.22	Varianta D za nedokonalého přepadu – délka nižší úrovně 91 mm, délka vyšší úrovně 280 mm, $Q = 20 \text{ l.s}^{-1}$	36
Obr. 6.1	Vyznačení identifikace k symbolům	45
Obr. 6.2	Schéma s vyznačením zvýšení sousední hladiny, přepadové paprsky jsou vykresleny dle [8]	52
Obr. 6.3	3D schématický náčrtek s vyznačením zvýšení sousední hladiny	52
Obr. 6.4	Vyznačení identifikace k symbolům pro nedokonalý přepad	58

11 SEZNAM GRAFŮ

Graf 6.1	Závislost m na h pro etalon s nižší úrovní přelivné hrany	46
Graf 6.2	Závislost m' na h_0 pro etalon s nižší úrovní přelivné hrany	46
Graf 6.3	Závislost m na h pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany	47
Graf 6.4	Závislost m' na h_0 pro etalon s vyšší úrovní přelivné hrany	47
Graf 6.5	Závislost součinitele K na přepadové výšce h_1 pro jednotlivé varianty	50
Graf 6.6	Závislost součinitele K' na přepadové výšce h_{01} pro jednotlivé varianty	51
Graf 6.7	Závislost součinitele $\sigma_{z,dvouetázový}$ na poměru h_{z1}/h_1 pro jednotlivé varianty	58

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a ...	zrychlení [m.s^{-2}]
a_1 ...	obecné zrychlení na modelu [m.s^{-2}]
a_2 ...	obecné zrychlení ve skutečnosti [m.s^{-2}]
b_1 ...	šířka nižší úrovně [m, mm]
b_2 ...	šířka vyšší úrovně [m, mm]
b ...	šířka přepadového paprsku [m]
b_i ...	šířka jednotlivých dílčích úrovní [m]
B ...	šířka obdélníkového žlabu [m]
Ca ...	Cauchyho kritérium [-]
F_1 ...	velikost obecné síly na modelu [N]
F_2 ...	velikost obecné síly ve skutečnosti [N]
Fr ...	Froudeovo kritérium modelové podobnosti [-]
g ...	tíhové zrychlení [m.s^{-2}]
h_1 ..	přepadová výška přes nižší úroveň přelivné hrany (koruny) [m, mm]
h_2 ..	přepadová výška přes vyšší úroveň přelivné hrany (koruny) [m, mm]
h_{01} ...	energetická přepadová výška přes nižší úroveň přelivné hrany (koruny) [m, mm]
h_{02} ...	energetická přepadová výška přes vyšší úroveň přelivné hrany (koruny) [m, mm]
h ...	přepadová výška, výška přepadového paprsku [m]
h_d ...	výška hladiny dolní vody (hloubka) [m]
h_z ...	výška zatopení dolní vodou [m]
h_0 ...	energetická přepadová výška [m]
Δh ...	výškový rozdíl úrovní přelivných hran (korun) [m]
Ka ...	Karmánovo kritérium [-]
K ...	opravný součinitel vlivu dvou úrovní přelivu bez uvažování přítokové rychlosti [-]

- K' ... opravný součinitel vlivu dvou úrovní přelivu s uvažováním přítokové rychlosti [-]
- L_1 ... obecná délka na modelu [m]
- L_2 ... obecná délka ve skutečnosti [m]
- L ... délka přelivné hrany [m]
- m ... přepadový součinitel [-]
- $m_{et,1}$... přepadový součinitel přelivu s nižší úrovní přelivné hrany bez uvažování přítokové rychlosti [-]
- $m'_{et,1}$... přepadový součinitel přelivu s nižší úrovní přelivné hrany při uvažování přítokové rychlosti [-]
- $m_{et,2}$... přepadový součinitel přelivu s nižší úrovní přelivné hrany bez uvažování přítokové rychlosti [-]
- $m'_{et,2}$... přepadový součinitel přelivu s nižší úrovní přelivné hrany při uvažování přítokové rychlosti [-]
- m_i ... součinitel přepadu pro jednotlivé dílčí úrovně hran (korun) [-]
- m_1 ... obecná hmotnost na modelu [kg]
- m_2 ... obecná hmotnost ve skutečnosti [kg]
- M_a ... měřítko zrychlení [-]
- M_F ... měřítko sil [-]
- M_L ... délkové měřítko [-]
- M_m ... měřítko hmotnosti [-]
- M_Q ... měřítko průtoků [-]
- M_S ... měřítko ploch [-]
- M_t ... měřítko času [-]
- M_v ... rychlostní měřítko [-]
- M_V ... měřítko objemů [-]
- M_p ... měřítko měrné hmotnosti [-]

- Q ... kapacita přelivu, přepadové množství [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- Q_i ... průtok přes jednotlivé dílčí úrovně hran (korun) [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- $Q_{i,\text{vyp}}$... vypočtený průtok jednotlivými dílčími částmi bez uvažování
přítokové rychlosti [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- $Q'_{i,\text{vyp}}$... vypočtený průtok jednotlivými dílčími částmi při uvažování
přítokové rychlosti [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- Q_{skut} ... skutečný průtok změřený na hydraulické trati [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- ΔQ_1 ... nárůst průtoku od zvýšené sousední hladiny [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- ΔQ_2 ... úbytek průtoku od vlivu kontrakce proudu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- Re ... Reynoldsovo kritérium modelové podobnosti [-]
- s ... výška koruny přelivu nad dnem žlabu (dnem prostoru pod přelivem) [m]
- Sh ... Strouhalovo kritérium [-]
- s_1 ... výška koruny přelivu nad dnem žlabu (dnem prostoru nad přelivem) [m]
- S_1 ... obecná plocha na modelu [m^2]
- S_2 ... obecná plocha ve skutečnosti [m^2]
- t ... tloušťka přelivné stěny [m]
- t_1 ... obecný čas na modelu [s]
- t_2 ... obecný čas ve skutečnosti [s]
- UZV ... ultrazvukové měřidlo
- v_0 ... přítoková rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- v_1 ... obecná rychlost na modelu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- v_2 ... obecná rychlost ve skutečnosti [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- V_1 ... velikost obecného objemu na modelu [m^3]
- V_2 ... velikost obecného objemu ve skutečnosti [m^3]
- VD ... vodní dílo
- We ... Weberovo kritérium modelové podobnosti [-]

α ... Coriolisovo kritérium, v případě v práci zmiňovaných výpočtů brána hodnota 1,00

σ ... povrchové napětí [N.m^{-1}]

σ_z ... součinitel zatopení [-]

$\sigma_{z,\text{dvouetážový}}$... součinitel zatopení pro dvouetážový přeliv [-]

ρ_1 ... obecná měrná hmotnost na modelu [kg.m^{-3}]

ρ_2 ... obecná měrná hmotnost ve skutečnosti [kg.m^{-3}]

2D ... dvourozměrný

3D ... trojrozměrný

13 SUMMARY

Increased occurrence of flood increases requirements on capacity of emergency constructions. Their parts are often fixed two-level spillways. Within their design or reconstruction of already existing spillway it is often possible to take advantage of edge or crest with two different levels for required control. This rather limited solution substitutes regulation element. Usage of two-level spillway is financially and operationally advantageous.

The border between edges with short lengths has significant influence on flow capacity of spillway. This influence has not been reliably examined yet.

This bachelor's thesis evaluated flow in space of two-level establishment on model situations. The evaluation is executed for wide ratios 251/120, 185,5/185,5, 121/250, 91/280 and for high ratios $h/s \in (0,165;0,842)$ a $h_0/s \in (0,166;0,878)$ of nappes for both free and drowned weir.

Determined value of correctional coefficient proves that the difference between real and determined value of flow capacity is about $\pm 3,6$ %. This work proposes accurate values of corrective coefficients for particular cases.

The bachelor' thesis also contains evaluation of coefficients for drowned weirs.

Relatively small influence of spatial flow in space of two-level establishment is suitable for usage of superposition principle of classic 2D capacity determination. We expected rather reduction than increase of capacity with this solution. Simplified explanation is presented in chapter 6.1.3.